

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

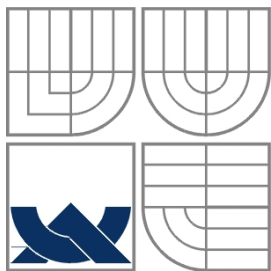
MODELÝ ELEKTRICKÝCH PŘÍSTROJŮ V MODERNÍCH CAD
SYSTÉMECH

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

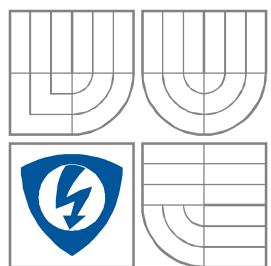
Bc. MAREK PROKEŠ

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MODELÝ ELEKTRICKÝCH PŘÍSTROJŮ V MODERNÍCH CAD SYSTÉMECH

THE MODELS OF ELECTRIC INSTRUMENTS IN MODERN CAD SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Prokeš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaromír Vaněk, CSc

BRNO, 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Prokeš Marek, Bc.

Ročník: 2

ID: 89608

Akademický rok: 2007/08

NÁZEV TÉMATU:

Modely elektrických přístrojů v moderních CAD systémech

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zhodnoťte nové možnosti programu Autodesk Inventor Professional 2008.
2. Popište vlastnosti jističe BD250N a jeho použití v rozvodech nn
3. Vytvořte animaci modelu jističe BD250N.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynu vedoucího práce

Termín zadání: 10.10.2007

Termín odevzdání: 30.5.2008

Vedoucí projektu: Ing. Jaromír Vaněk, CSc

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan

Jméno a příjmení: Marek Prokeš

Bytem: Staré Město 184, Frýdek – Místek

Narozen (datum a místo): 27. 1. 1984, Frýdek – Místek

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc., předseda oborové rady Silnoproudá

elektrotechnika a výkonová elektronika

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

☐ disertační práce

☒ diplomová práce

☐ bakalářská práce

☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Modely elektrických přístrojů v moderních CAD systémech

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jaromír Vaněk, CSc.

Ústav: Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Datum obhajoby VŠKP: 10. června 2008

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v *:

☒ tištěné formě – počet exemplářů 1

☒ elektronické formě – počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☒ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Abstrakt

V této diplomové práci se především zhodnocují nové možnosti programu Autodesk Inventor Professional 2008.

Autodesk Inventor je systém pro 3D strojírenské návrhy obsahující nástroje pro 3D modelování, správu informací, spolupráci a technickou podporu. Verze programu Autodesk Inventor Professional 2008, o které v této práci budu neustále mluvit, má velmi mnoho jak nových možností využití, tak i mnoho vylepšení oproti nižší verzi

V této diplomové práci jsou dále popsány vlastnosti jističe BD250N a jeho použití v rozvodech nízkého napětí. V přiloženém CD se nachází vytvořená animace modelu jističe BD250N, spolu s popisem tvorby animace.

Pro tuto diplomovou práci jsem používal verzi Autodesk Inventor Professional 2008 v anglické verzi.

Abstract

In this master's thesis the new possibilities of software Autodesk Inventor Professional 2008 are described.

Autodesk Inventor is a system for 3D machine engineering containing tools for 3D modeling, information management, cooperation and technical support. Autodesk Inventor Professional 2008 has a lot of new possibilities and improvements compared to the previous version.

This master's thesis contains also description of the circuit breaker BD250N and its utilization in the distribution of low voltage. In enclosed CD the model animation of circuit breaker with description of modeling process can be found.

The Autodesk Inventor Professional 2008 is used for this master's thesis – English version.

Klíčová slova

3D modelování; animace modelu jističe BD250N; Autodesk Inventor 2008; jistič BD250N; novinky v Inventoru 2008; rozvody nízkého napětí.

Keywords

3D modeling; animation circuit breaker BD250N model; Autodesk Inventor 2008; circuit breaker BD250N; Inventor 2008 news; distribution low voltage.

Bibliografická citace

PROKEŠ, M. *Modely elektrických přístrojů v moderních CAD systémech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 59 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaromír Vaněk, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Modely elektrických přístrojů v moderních CAD systémech jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

Podpis autora

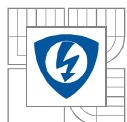
Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Jaromíru Vaňkovi CSc. za poskytnutí rad, připomínek a čas, který věnoval mé práci.

Dále bych rád poděkoval doc. Dr. Ing. Haně Kuchyňkové za pomoc a poskytnutí studijních materiálů a celému kolektivu ústavu, kteří mi věnovali svůj čas.

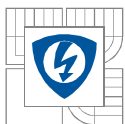
V Brně dne

Podpis autora

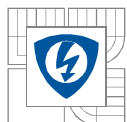


OBSAH

1 NOVÉ MOŽNOSTI PROGRAMU AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2008.....	14
1.1 NÁČRT.....	14
1.1.1 SEZNÁMENÍ S REŽIMEM NÁČRT	14
1.1.2 NOVINKY V REŽIMU NÁČRT	15
1.2 MODELOVÁNÍ SOUČÁSTÍ.....	18
1.2.1 SEZNÁMENÍ S REŽIMEM 3D PRVKY	18
1.2.2 NOVINKY V MODELOVÁNÍ SOUČÁSTÍ.....	20
1.3 PROSTŘEDÍ PLECHY.....	21
1.3.1 SEZNÁMENÍ S PROSTŘEDÍ PLECHY	21
1.3.2 NOVINKY V PROSTŘEDÍ PLECHY	21
1.4 PROSTŘEDÍ VÝKRES	23
1.4.1 SEZNÁMENÍ S PROSTŘEDÍ VÝKRES	23
1.4.2 NOVINKY V PROSTŘEDÍ VÝKRES	26
1.5 DYNAMICKÁ SIMULACE.....	27
1.5.1 SEZNÁMENÍ S DYNAMICKOU SIMULACÍ.....	27
1.5.2 NOVINKY V DYNAMICKÉ SIMULACI	31
2 VLASTNOSTI JISTIČE BD250N A JEHO POUŽITÍ V ROZVODECH NN.....	32
2.1 SEZNÁMENÍ S OBECNÝM JISTIČEM	32
2.1.1 CHARAKTERIZUJÍCÍ POJMY JISTIČE	34
2.1.2 VÝVOJOVÉ GENERACE JISTIČŮ	35
2.2 TYPY SPOUŠTÍ JISTIČE BD250N.....	37
2.2.1 NADPROUDOVÁ SPOUŠŤ L001	38
2.2.2 NADPROUDOVÁ SPOUŠŤ DTV3	39
2.2.3 NADPROUDOVÁ SPOUŠŤ MTV8.....	40
2.2.4 NADPROUDOVÁ SPOUŠŤ MTV9	42
2.2.5 NADPROUDOVÁ SPOUŠŤ 4D01	45
2.3 DIMENZOVÁNÍ A JIŠTĚNÍ ELEKTRICKÝCH VEDENÍ	46
2.3.1 URČENÍ VÝPOČTOVÉHO ZATÍŽENÍ VEDENÍ.....	46
2.3.2 STANOVENÍ PRŮŘEZU	46
2.3.3 DIMENZOVÁNÍ VEDENÍ PODLE ÚBYTKU NAPĚTÍ	46
2.3.4 DIMENZOVÁNÍ VEDENÍ PODLE ÚČINKŮ ZKRATOVÝCH PROUDŮ	47
2.3.5 DIMENZOVÁNÍ VEDENÍ PODLE HOSPODÁRNOSTI	47
2.4 JIŠTĚNÍ TRANSFORMÁTORŮ	48
2.4.1 MOŽNÉ ZÁVADY	48
2.4.2 PŘIŘAZOVÁNÍ VN POJISTEK.....	48
2.4.3 FUNKCE POJISTKY VYSOKÉHO NAPĚTÍ A ZÁSADY PRO NAVRHOVÁNÍ VN POJISTEK	49
2.5 NÁVRH VEDENÍ OD DISTRIBUČNÍHO TRANSFORMÁTORU ELIN 22/0,42 kV, S = 160kVA	50
2.5.1 NÁVRH JIŠTĚNÍ NA SEKUNDÁRNÍ STRANĚ TRANSFORMÁTORU	50
2.5.2 URČENÍ VÝPOČTOVÉHO ZATÍŽENÍ VEDENÍ.....	50
2.5.3 STANOVENÍ PRŮŘEZU	51
2.5.4 DOVOLENÝ ÚBYTEK NAPĚTÍ	51
2.5.5 DIMENZOVÁNÍ VEDENÍ PODLE ÚČINKŮ ZKRATOVÝCH PROUDŮ	51

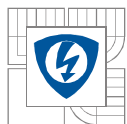


3 VYTVOŘENÍ ANIMACE MODELU JISTIČE BD250N	53
4 DODATEK.....	53
5 POPIS PŘÍSTROJOVÉHO A PROGRAMOVÉHO VYBAVENÍ.....	53
6 ZÁVĚR.....	54
LITERATURA	56
PŘÍLOHY	57



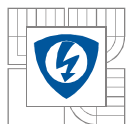
SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 Prostředí připravené pro zhotovení náčrtu</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 2 Panel nástrojů bez popisků ikon</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 3 Zobrazení potřebného počtu kót do plného zakótování náčrtu.....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 4 Viditelnost vazeb</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 5 Použití funkce Rotace.....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 6 Použití funkce Ohnutí.....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 7 Příkazy při aktivním Rozvinu</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 8 Názorné překrytí rohových částí plechů</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 9 Parametry ohybu.....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 10 Okno pro vytvoření výkresového pohledu.....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 11 Okno pro Editor stylů a norem</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 12 Názorná ukázka zobrazení detailu.....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 13 Panel nástrojů Dynamické simulace.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 14 Okno grafů</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 15 Okno pro Nastavení dynamické simulace</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 16 Model zhašecí komory jističe BD250N.....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 17 Vypínací charakteristika jističe BD250N se spouští MTV8.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 18 Vypínací charakteristika jističe BD250N a rozběh asynchronního motoru</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 19 Měřicí proudový transformátor osazený na výstupní sběrnici</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 20 Provedení Rogowského cívky pro měření proudu protékajícím vodičem.....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 21 Nadproudová spoušť L001 - vedení.....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 22 Vypínací charakteristika spouště L001.....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 23 Nadproudová spoušť DTV3 - distribuční.....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 24 Vypínací charakteristika spouště DTV3</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 25 Nadproudová spoušť MTV8 - motory</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 26 Vypínací charakteristika spouště MTV8 - "TV"</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 27 Vypínací charakteristika spouště MTV8 - "M"</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 28 Nadproudová spoušť MTV9 - motory, nastavení časové selektivity.....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 29 Vypínací charakteristika spouště MTV9 - "TV"</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 30 Vypínací charakteristika spouště MTV9 - "M"</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 31 Nadproudová spoušť 4D01 - distribuční s jištěním N pólu</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 32 Charakteristika VN pojistky PL45</i>	<i>49</i>

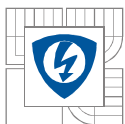


SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

AVI	– formát video souboru Audio Video Interleave
DWG	– formát souboru v programu AutoCAD
IPT	– formát souboru v programu Autodesk Inventor
CYKY	– kabel (C – měděné jádro, Y – měkčená izolace z PVC, K – silový kabel, Y – měkčená izolace z PVC)
TN-C-S	– elektrická síť, kde v části sítě jsou funkce středního a ochranného vodiče sloučeny do jednoho vodiče (PEN), v další části sítě jsou střední a ochranný vodič vedeny odděleně a již nesmí být vzájemně pospojovány
TN-S	– funkce středního a ochranného vodiče jsou sloučeny do jednoho vodiče (PEN)
gG	– tavná vložka pojistky jistící v celé oblasti působení při všeobecném použití
β	– činitel náročnosti skupiny spotřebičů [-]
$\cos\varphi_M$	– účinník motoru [-]
$\cos\varphi_S$	– účinník sítě [-]
K	– součinitel přiřazení jisticího prvku [-]
k_1, k_2, \dots, k_i	– přepočítací součinitelé zatížitelnosti pro příslušný vodič [-]
k	– konstanta zahrnující vlastnosti materiálu a odpovídající dovolenému oteplení vodiče [-]
c_v	– měrné teplo [$\text{Ws/K}\cdot\text{m}^3$]
F_x, F_y, F_z	– síly v určitých osách souřadnic x, y, z [N]
I^2t	– Jouelův integrál [A^2s]
I_B	– proud, pro který je vedení navrženo [A]
I_K	– zkratový proud [A]
I_{K1}	– zkratový proud za transformátorem [A]
I_{K2}	– zkratový proud na konci vedení [A]
I_n	– jmenovitý proud [A]
I_N	– proud čtvrtého (N) pólu [A]
I_r	– redukováný jmenovitý proud [A]



I_{rm}	– vybavovací proud časově nezávislé okamžité (zkratové) spouště [A]
I_{rmv}	– vybavovací proud časově nezávislé zpožděné (selektivní) spouště [A]
I_Z	– dovolené proudové zatížení [A]
l	– délka kabelu [m]
P_i	– výkon jednotlivých instalovaných spotřebičů [W]
P_K	– zkratový výkon [W]
P_V	– výpočtový výkon [W]
R_{S1}	– odpor přepočtený z nadřazené sítě na sekundární stranu [Ω]
R_T	– odpor na transformátoru [Ω]
R_V	– odpor vedení [Ω]
S	– průřez kabelu [mm^2]
S_1	– zdánlivý výkon nadřazené sítě [VA]
S_2	– zdánlivý výkon transformátoru [VA]
t_r	– vypínací čas při uvedeném násobku I_r [s]
t_v	– zpoždění časově nezávislé zpožděné spouště [s]
T_x, T_y a T_z	– velikost točivého momentu v určitých osách souřadnic x, y, z [Nm]
U	– sdružené napětí [V]
U_i	– izolační napětí [V]
u_K	– procentní napětí nakrátko [%]
U_n	– jmenovité napětí [V]
X_L	– měrná reaktance vodiče [Ω/km]
X_{S1}	– reaktance přepočtený z nadřazené sítě na sekundární stranu [Ω]
X_T	– reaktance na transformátoru [Ω]
X_V	– reaktance vedení [Ω]
Z_T	– impedance na transformátoru [Ω]
ΔU	– úbytek napětí [V]
Δv	– oteplení vodičů [K]
α_{Cu}	– teplotní součinitel elektrického odporu [K^{-1}]
ρ	– měrný odpor vodiče [$\Omega mm^2/m$]



1 NOVÉ MOŽNOSTI PROGRAMU AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2008

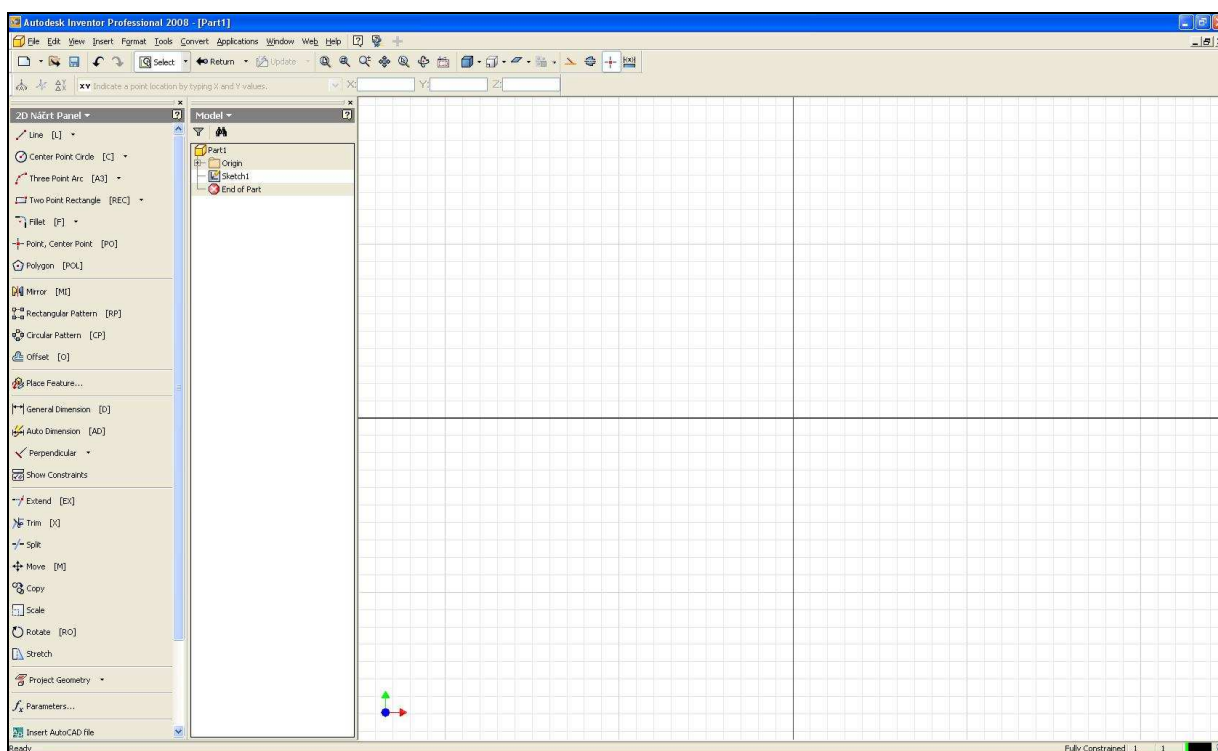
Autodesk Inventor byl vytvořen tak, aby při navrhování ve 3D bylo co nejsnazší. Žádná taková společnost se nesnaží jako Autodesk, aby pomáhala konstruktérům rychleji a efektivněji pracovat. Nová verze je ještě více kompatibilnější s programem AutoCAD. Nyní se dá jednodušeji převést soubor s příponou *.dwg (AutoCAD) na příponu *.ipt (Inventor).

1.1 Náčrt

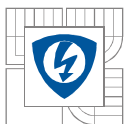
1.1.1 Seznámení s režimem Náčrt

Náčrtem se začíná při každém modelování součásti. Z náčrtu se pak dá pomocí modelovací funkce vytvořit trojrozměrný model. Náčrt je tedy profil tvaru modelu či jakéhokoliv dalšího prvku.

Kreslení náčrtu je možné, pokud je aktivní režim náčrtu. Poznává se to podle toho, že v *Grafickém okně* je zobrazena mřížka a v *Okně nástrojů* jsou tlačítka pro kreslení. Tento režim se zobrazí vždy po vytvoření nového souboru modelu.

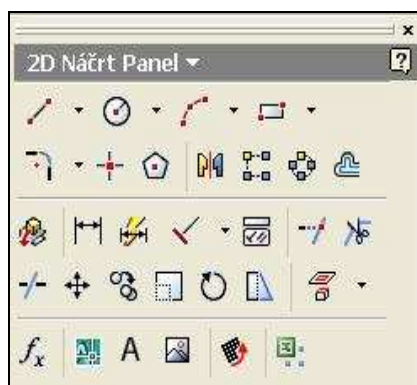


Obrázek 1 Prostředí připravené pro zhotovení náčrtu



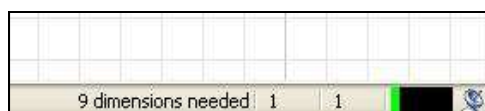
1.1.2 Novinky v režimu Náčrt

Po spuštění programu si uživatel všimne nových ikon, které se poměrně dost podobají ikonám v programu AutoCAD. Různé funkce jsou sjednoceny pod jednu ikonu a rozšířeny pomocí malého trojúhelníčku. Objevily se zde i nové příkazy, jako např. příkaz *Scale* (*Měřítko*) či *Stretch* (*Prodloužit*). Je zde také možnost vybrat si menu pro „Experta“, jak je toto menu nazýváno, a dlouhé menu s funkcemi se najednou promění na malé menu pouze s obrázky ikon představující danou funkci. Menu je zobrazeno na Obrázku 2. Tato možnost se vyplácí pro zkušené konstruktéry a při návrhu složité součásti, kdy je „menu pracovního postupu“ příliš dlouhé a konstruktér nemá širokoúhlý monitor, může této funkci využít. Pod panel nástrojů vloží „menu pracovního postupu“ a tím si tak zvětší grafické okno pro modelování.



Obrázek 2 Panel nástrojů bez popisků ikon

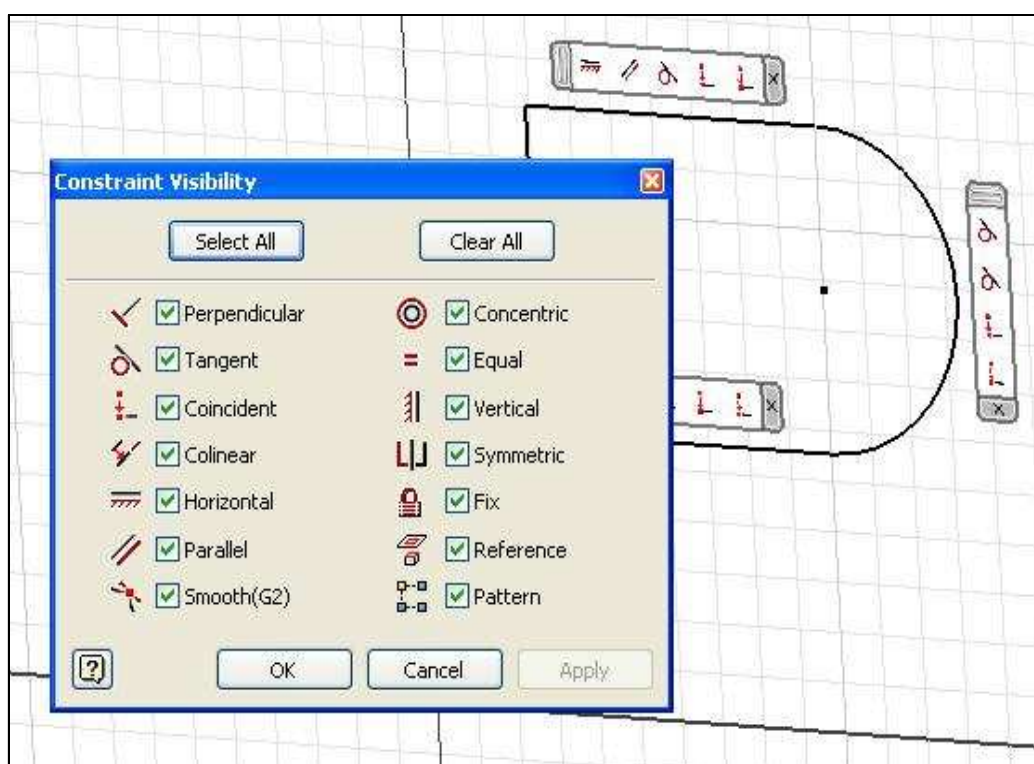
Mezi nové prvky lze zařadit zobrazování potřebného počtu kót do plného zakótování náčrtu, které je zobrazeno na Obrázku 3. Informační menu, lze-li ho takto nazvat, se nachází v dolní levé části grafického okna.



Obrázek 3 Zobrazení potřebného počtu kót do plného zakótování náčrtu

Mezi další změny patří zobrazování dvourozměrných vazeb v náčrtu. Ikony vazeb jsou nyní přichyceny k náčrtu a při natáčení roviny se spolu s náčrtem otáčejí. Rovněž značky vazeb se změnily. V této verzi jsou nyní větší a tím pádem i přehlednější. Při výběru dané entity dojde k zvýraznění všech dvourozměrných vazeb, které se vztahují k dané entitě.

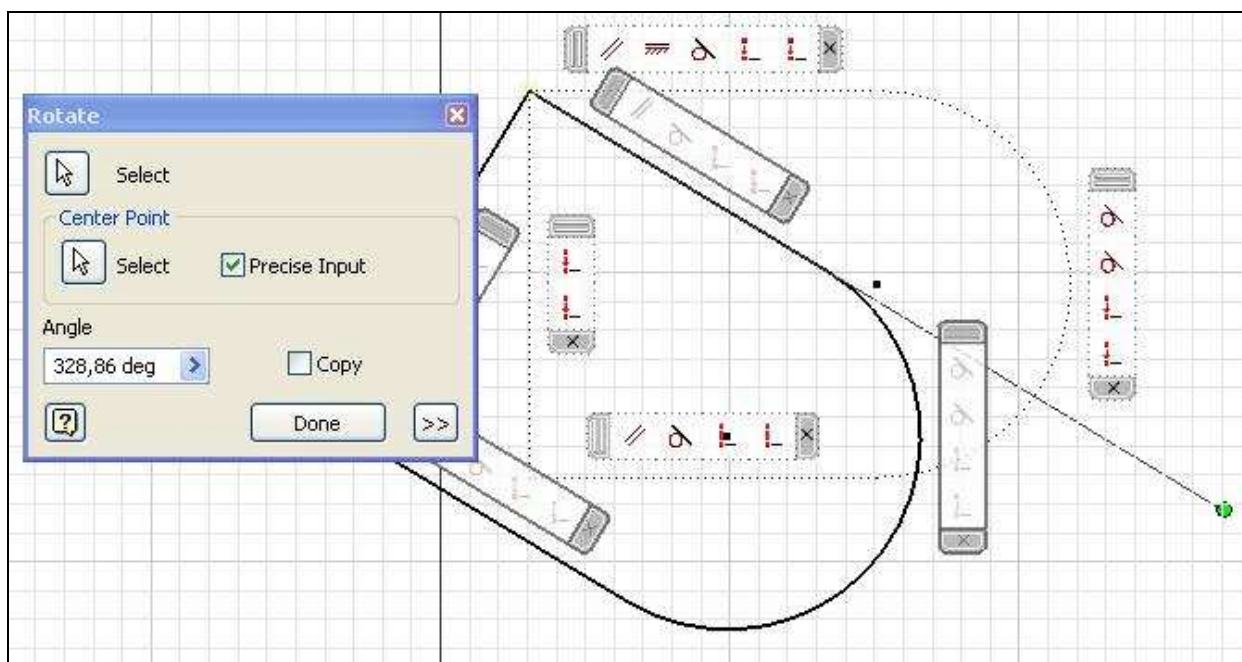
Vazby se už tradičně zapínají pomocí klávesy *F8* a vypnout se dají pomocí klávesy *F9*. Konstruktor si může díky nové funkci *Constraint Visibility* (*Viditelnost vazeb*) nastavit, jaké dvourozměrné vazby budou zobrazeny a které naopak nikoliv. Tento příkaz se nachází při kliknutí pravého tlačítka myši v grafickém okně a výběru v kontextovém menu *Constraint Visibility* (*Viditelnost vazeb*), viz Obrázek 4.



Obrázek 4 Viditelnost vazeb

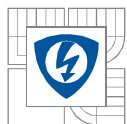
Vylepšené funkce mají i příkazy pro tvorbu *Copy* (*Kopie*), *Move* (*Posunout*) a *Rotate* (*Otočit*). Tento program ukazuje podobně jako u jiných příkazů, například příkaz *Extrude* (*Vysunout*), dynamický náhled. To znamená, že původní náčrt, který chceme zkopírovat, posunout či otočit, zůstane viditelný a „nový“ náčrt pomocí kurzoru lze vložit.

Funkce *Kopie*, *Posunout* či *Otočit* se v této verzi používá tak, že se jako první vybere prvek, se kterým se bude pracovat, a poté se vybere referenční bod a pomocí kurzoru tento prvek kopíruje, posouvá či otáčí. Při funkci *Otočit* lze také daný původní prvek kopírovat - zaškrtnutí příkazu *Copy* (*Kopie*), jak je vidět na Obrázku 5.



Obrázek 5 Použití funkce Rotace

Další vylepšení a podobnost s programem AutoCAD je ta, že jestli se má opakovat funkce, kterou se naposledy používala, stačí, když se stiskne na klávesnici *Mezerník*, jak bylo zvykem v programu AutoCAD. Tato funkce docela urychluje práci s Inventorem a minimalizuje zbytečné klikání myši. Také pro zrychlení zadávání příkazu se již ve starších verzích Inventoru osvědčily klávesové zkratky. Také u této verze není tomu jinak, pouze se zde musí dané klávesové zkratky potvrdit klávesou *Enter*.



1.2 Modelování součástí

1.2.1 Seznámení s režimem 3D Prvky

Modelovat součást se rozumí to, že se vytvoří objemové těleso – model. Model je většinou jedna součást jako např. hřídel, šroub. V některých případech se model skládá z více součástí, jako jsou např. motor či svařovaná skříň. Jakýkoliv model nebo součást se tvoří vždy z dvojrozměrného náčrtu, který se např. protáhne či orotuje kolem své osy. Z tohoto důvodu je nutné se naučit pro vymodelování jakéhokoliv složitého tvaru naplánovat postup tvorby modelu do několika méně složitých kroků, kde každý krok znamená nějaký prvek modelu, vytvořený z dvojrozměrného náčrtu. Výsledný model se složí z méně složitých prvků pomocí přidání materiálu, odříznutí materiálu, zaoblení, atd.

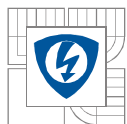
Složený model se pak skládá z těchto částí:

- ♦ *Základní prvek (většinou první prvek)* – základní objemová část, která je vytvořena z náčrtu.
- ♦ *Prvek modelu* – je to jakýkoliv další prvek, který se k hlavnímu prvku přidá nebo se z něj odřízne.

Vytvoření modelu z náčrtu

Model se začne tvořit, když je hotov náčrt. To se provede ukončením pomocí tlačítka *Návrat*. K vytvoření modelu je za potřeby jedna z následujících funkcí:

- ♦ *Extrude (Vysunout)* – Vysunutí náčrtu kolmo k rovině.
- ♦ *Revolve (Rotovat)* – Orotuje náčrt okolo zvolené osy, nebo okolo zvolené úsečky.
- ♦ *Loft (Šablonování)* – Vytvoření modelu pomocí plynulého přechodu mezi několika profily.
- ♦ *Sweep (Tažení)* – Tažení náčrtu po zvolené ose či úsečce.
- ♦ *Coil (Spirála)* – Vytvoření spirály.



Úprava náčrtu

Upravit náčrt se může tak, že v panelu *Prohlížeč* se klikne na *Sketch 1 (Náčrt 1)* pravým tlačítkem myši a vybere se položka *Edit Sketch (Upravit náčrt)*. V tomto případě se konstruktér octne v kreslení náčrtu, kde se může náčrt upravovat. Dokonce celý náčrt lze zde i smazat a začít od začátku. Jakmile je úprava náčrtu hotova, musí se celý model přepočítat, a to se provede pomocí stisknutí tlačítka *Update (Aktualizovat)* a poté stisknutí tlačítka *Return (Návrat)*.

Úprava prvků

Upravit prvek se dá pomocí panelu *Prohlížeč*, kde se klikne na jeho položku a pravým tlačítkem myši se vybere položka *Edit (Upravit)*. Zde se může prvek editovat. Nyní se mohou změnit různé parametry prvku, jako například velikost vysunutí, směr vysunutí apod. Po ukončení úpravy prvku se model přepočítá.

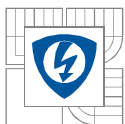
Úprava modelu

Úprava modelu se provede tak, že v panelu *Prohlížeč* je vidět historie tvorby modelu, která je uspořádaná chronologicky do přehledné stromové struktury. V tomto panelu se vybere, jaký prvek je potřeba upravit, a poté se upraví.

Manipulace s pohledem na scénu

Když se pracuje s trojrozměrným modelem, je třeba, aby se pohodlně prohlížel model či sestava. K tomu slouží nástroje pro manipulaci s pohledem. Tyto nástroje jsou umístěny buď v menu *Zobrazit*, nebo v horní tlačítkové liště:

- ◆ *Rotate (Otočit)* – po stisknutí této volby se může pomocí myši otáčet jakkoliv s modelem.
- ◆ *Pan (Posun pohledu)* – po stisknutí této volby se může pomocí myši pohybovat s modelem po výkrese.
- ◆ *Zoom* – po výběru této volby se může pomocí myši zvětšovat či zmenšovat model. Při tahu myši směrem dolů se model zvětšuje a při tahu myši směrem nahoru se model zmenšuje.
- ◆ *Zoom Window (Zoom okno)* – po výběru této volby pomocí levého tlačítka myši se určí jeden roh okna a tažením se vytvoří okno, ve kterém bude zvětšený obraz modelu.
- ◆ *Zoom Selected (Zoom vybrané)* – tato volba určuje, která z vybraných součástí se zvětší do *Grafického okna*. Součást se vybere pomocí myši.
- ◆ *Look At (Pohled na)* – po výběru této volby se vybere pomocí levého tlačítka myši stěna modelu, která má být viděna v jejích dvourozměrných souřadnicích.



- ◆ *Zoom All (Zoom vše)* – tato volba přiblíží všechny modely či sestavu.
- ◆ *Isometric View (Izometrický pohled)* – nastaví model na izometrický pohled.
- ◆ *Center of Gravity (Těžiště)* – po výběru této volby se zobrazí těžiště modelu.

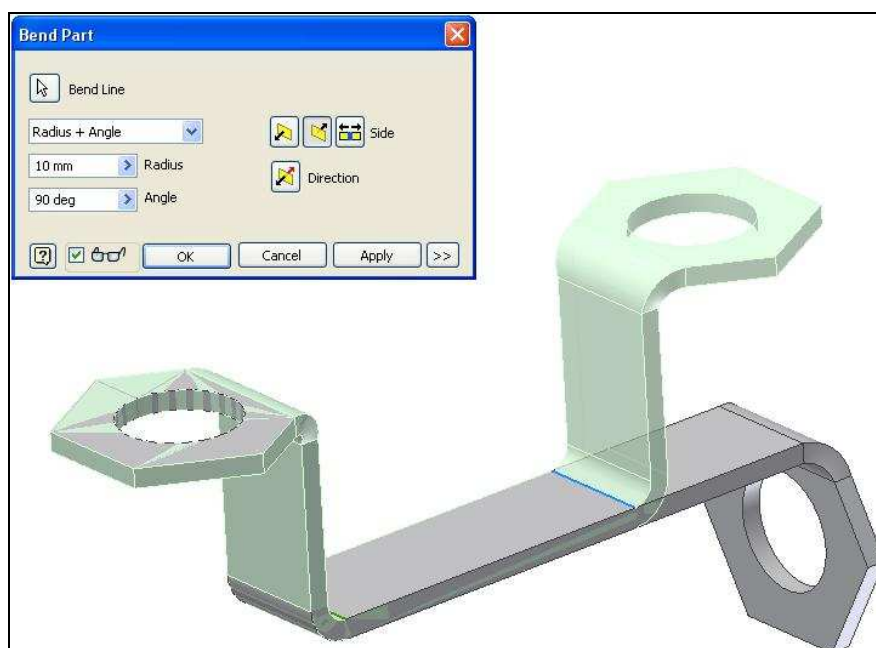
Fyzikální vlastnosti modelu

Fyzikálními vlastnostmi modelu se rozumí jeho barva a materiál. V šabloně je nastaven tzv. výchozí materiál, kde jeho hustota je 1 g/cm^3 . Barva tohoto materiálu je nastavená taky jako výchozí. V Inventoru je nutné pojmy *Barva* a *Materiál* důrazně odlišovat. *Materiál* je možné přiřadit pomocí menu *Soubor*, kde se vybere volba *Vlastnosti*. V záložce *Fyzikální* lze přiřadit materiál. Je zde možné také zjistit různé fyzikální vlastnosti.

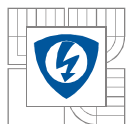
1.2.2 Novinky v Modelování součástí

Mezi novinky tohoto odvětví patří zejména další možnost definování příkazu *Extrude (Vysunutí)*. Je doplněno možností *To (Do, k dalšímu)* a *From To (Od Do)*. Tato novinka je také u funkce *Revolver (Rotovat)*, kde uživatel nemusí odměřovat koncovou rovinu nebo rotovat s přesahem.

Objevil se zde nový příkaz *Bend (Ohnutí)*. Tento příkaz pracuje podobně jako v modulu *Plechové díly*. Ohyb je definován pomocí čáry v náčrtu v místě ohybu. Můžeme nastavit jak radius, úhel, stranu ohybu, tak i směr ohybu. Tato funkce se hodí, když je zapotřebí ohnout jen pár prvků a nevyplatí se zde, či se nehodí, používat modul *Plechové díly*. Příkladu takového ohybu si lze všimnout na Obrázku 6. Tento příkaz zastupuje jen základní možnosti při ohýbání předmětů.



Obrázek 6 Použití funkce Ohnutí



1.3 Prostředí Plechy

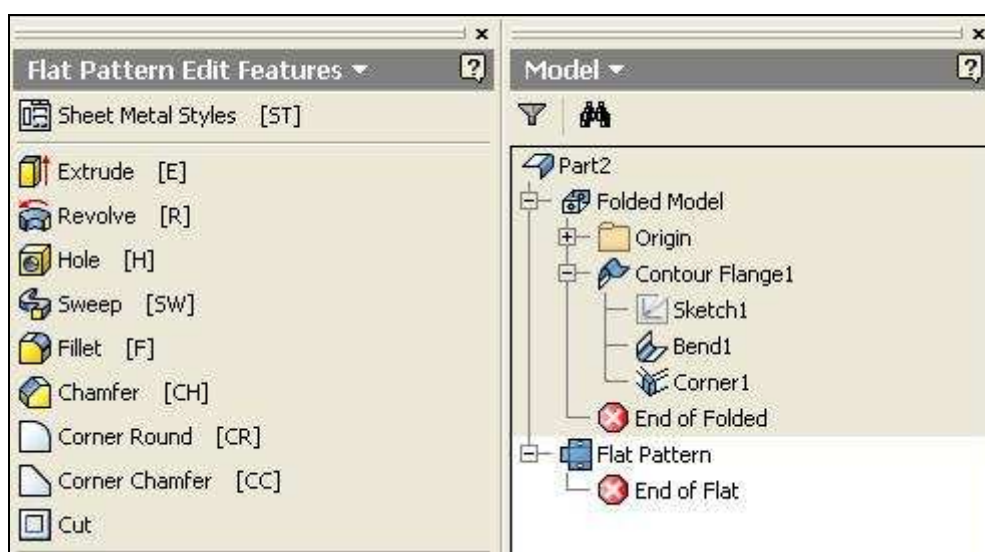
1.3.1 Seznámení s prostředí Plechy

Autodesk Inventor má šablonu i na plech. Tato funkce lze využít tak, že při startu tohoto programu se nevybere šablona *Standart.ipt*, ale šablona *Sheet Metal.ipt*. Postup při tvoření plechu je obdobný jak u tvoření modelu. Nakreslí se náčrt, ten se ukončí pomocí levého tlačítka myši a vybere se *Return* v liště záložek. V *Tlačítkovém okně* se pak objeví funkce pro modelování plechů na místo klasických modelovacích funkcí.

1.3.2 Novinky v prostředí Plechy

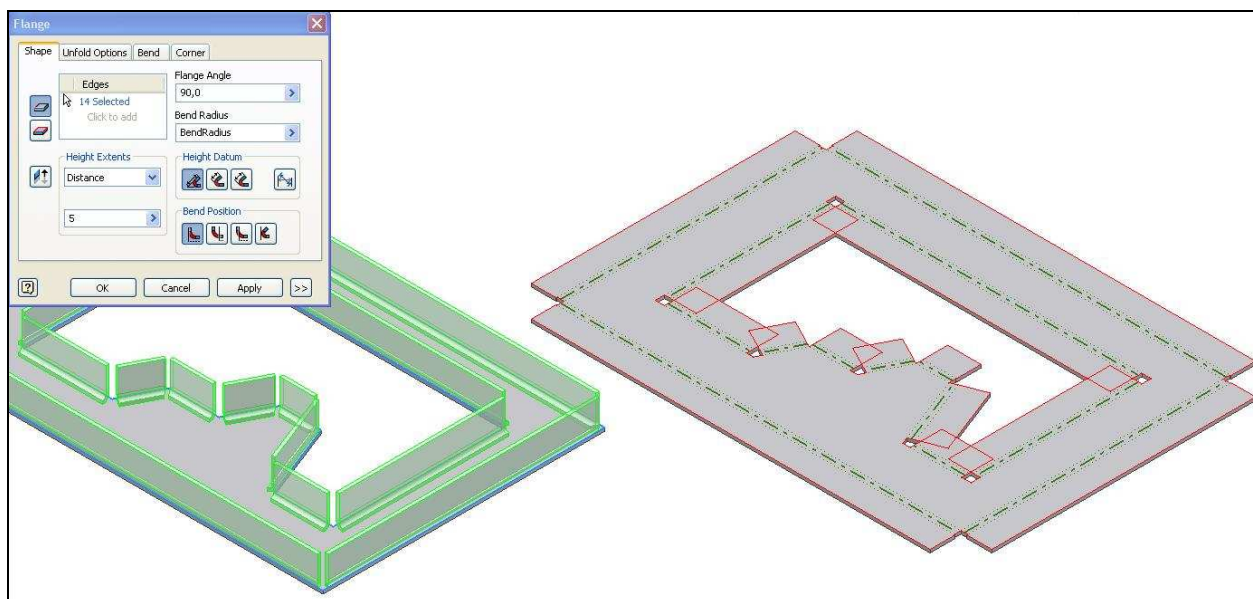
Také v tomto prostředí došlo k poměrně významným úpravám a vylepšením. Nejdříve je popsána funkce *Flat Pattern (Rozvin)*. Jako krok k zpřehlednění a zlepšení orientace v modulu Plechové díly lze chápat integraci rozvinu přímo do prohlížeče. To znamená, že při přepnutí na rozvin se již neotvírá nové samostatné okno, ale jednoduše se přepíná mezi modelem a rozvinem.

Jediná nevýhoda zde je ta, že ze zvyku z předešlých verzí Inventoru může konstruktér okno rozvinu zavřít, ale tím zavře i celý model. Integrace do prohlížeče přináší i další výhodu. Tou je možnost upravovat rozvinutý tvar standardními příkazy. Tyto úpravy se ale bohužel nadále nepřenášejí do 3D modelu plechového dílu. Dá se jen doufat, že tato možnost bude v novějších verzích.



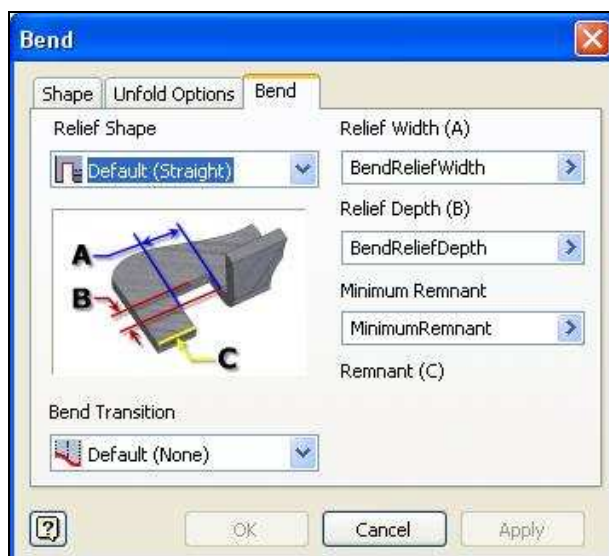
Obrázek 7 Příkazy při aktivním Rozvinu

Příkaz *Flange (Obruba)* je vylepšen o možnost vybrat více hran najednou. Toto vylepšení oproti předešlým verzím značně urychluje práci. Je třeba zde ale podotknout, že při vytvoření obruby nemusí být proveden rozvin a je nutné tuto obrubu dále upravit. Jak je znázorněno na Obrázku 8, při rozvinu totiž může dojít k překrytí rohových částí plechu. Konstruktor je na tuto skutečnost upozorněn chybovou hláškou již během modelování. Toto lze odstranit zkosením nebo nastavením větších prostřihů či odřezáním.

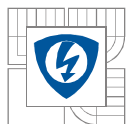


Obrázek 8 Názorné překrytí rohových částí plechů

Mezi další novinky v prostředí *Plech* patří parametry ohybu, jak je vidět na obrázku 9. Konstruktor nyní vidí přehledně, co jaký parametr ohybu znamená, a které hodnoty patří k dané geometrii.



Obrázek 9 Parametry ohybu



1.4 Prostředí Výkres

1.4.1 Seznámení s prostředím Výkres

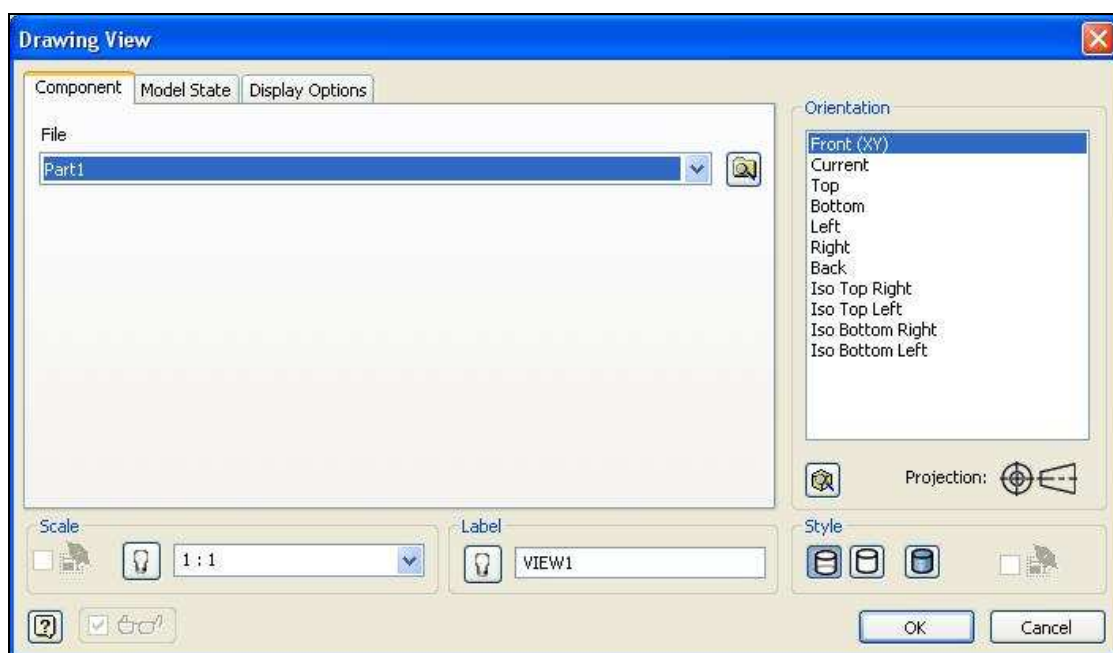
Výkresovou dokumentaci je možné vytvořit jak z modelu součástí, tak z celé sestavy nebo prezentace. Každý výkres obsahuje jeden či více výkresových pohledů (pohledů na součást, sestavu, prezentaci), které volí uživatel zcela libovolně a v neomezeném množství. Mezi výkresovou dokumentací a zdrojovým modelem je asociativní vztah (změna modelu se automaticky promítá změnou do výkresové dokumentace). Jestliže se změní kóta na výkrese, změní se i model.

Pracovní prostředí Inventoru ve výkresovém módu se liší už v *Grafickém okně*, kde je zobrazen výkresový list určitého formátu s rámečky a razítkem, které se načte ze šablony. *Prohlížeč* zobrazuje to, co je a bude ve výkresové dokumentaci obsaženo. Na začátku tam jsou dvě položky - jsou to: *Drawing Resources (Zdroje výkresu)* a *Sheet (List)*. První z nich obsahuje zdroje jako *Formáty listu*, *Rámečky*, *Rohová razítka* a *Náčrtkové značky*. Tyto zdroje jsou všechny předdefinovány a z nich si uživatel může vybrat ty, které hodlá ve výkrese použít. Lze však i definovat vlastní a to kdykoliv v průběhu práce. Položka *List* je samotná kreslicí čtvrtka *Grafického okna* s těmi položkami, které po začátku obsahuje pouze rámeček a razítko.

Okno nástrojů obsahuje funkce, které je možné nyní použít, a jsou to funkce pro vytvoření výkresových pohledů na modely.

Tvorba výkresů

Tvorba výkresů se začne vyvoláním výběru *Base View (Základní pohled)* z *Okna nástrojů* nebo stisknutím pravého tlačítka myši buď v *Grafickém okně* nebo v *Prohlížeči* a výběru volby *Base View (Základní pohled)*. Poté se zobrazí okno pro vytvoření výkresového pohledu (Obrázek 10.).



Obrázek 10 Okno pro vytvoření výkresového pohledu

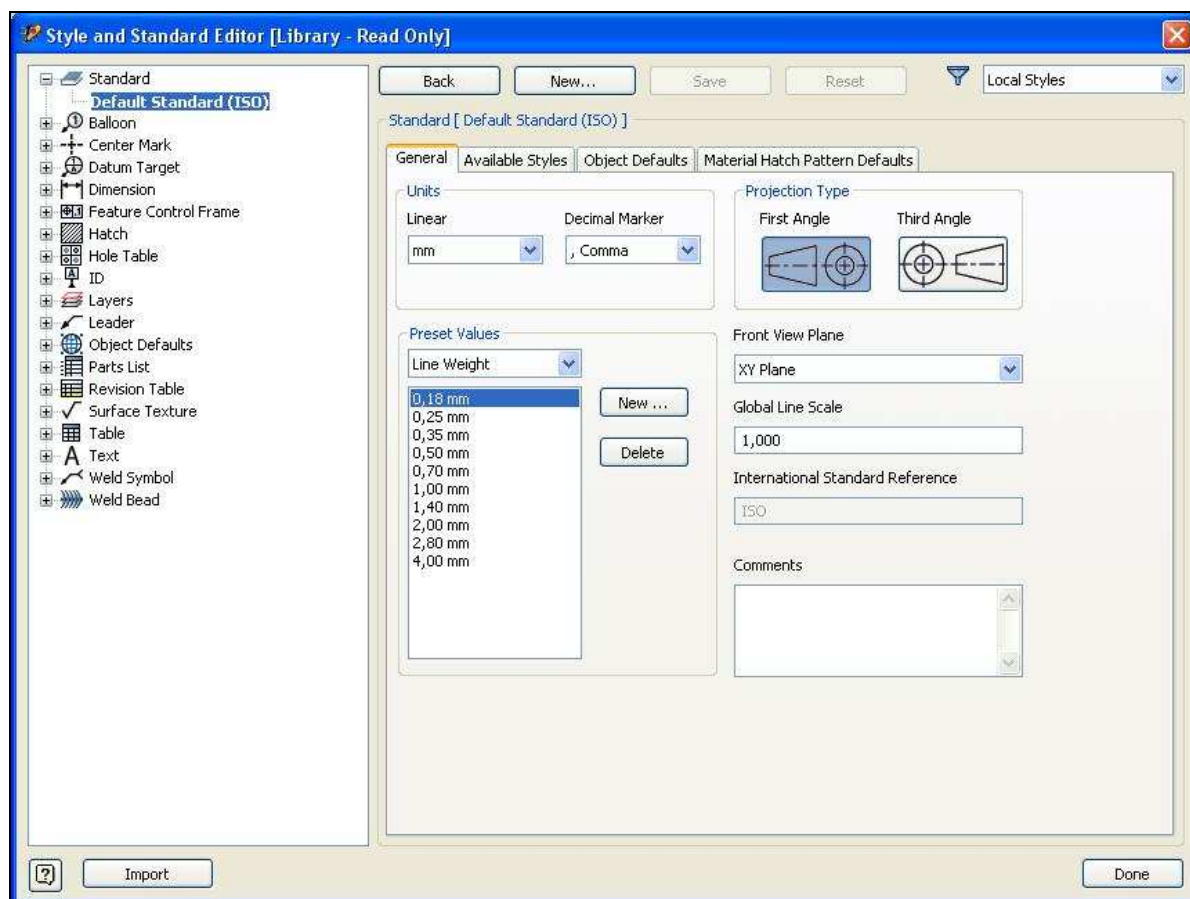
Polohy pohledů je možné libovolně po výkrese přemísťovat tažením myši. Základní pohled lze přemísťovat libovolně po celém výkresu. Odvozené výkresové pohledy mají možnost přemísťování omezenou (podle pravidla svého odvození). Vazba mezi pohledy může být zrušena anebo také dvěma nezávislým pohledům přidána. Provádí se to tak, že se vybere v pracovním prostředí anebo v *Prohlížeči* pohled, který hodláme přivázat (zarovnávaný) a po stisku pravého tlačítka myši se z menu zvolí volba *Alignment* (Zarovnání).

Tato volba obsahuje následující možnosti:

- ◆ *Horizontální* – ukázáním na další pohled (zdrojový) bude k tomu zarovnaný pohled posunut tak, aby jejich středy ležely v horizontální přímce. Zarovnávaný pohled pak bude možné posouvat jen horizontálně. Posunutím zdrojového pohledu (ten lze posouvat po výkrese libovolně, pokud není také s něčím vázaný) například vertikálně se samozřejmě dodržuje zarovnání a tak se posouvá s tímto i zarovnaný pohled.
- ◆ *Vertikální* – Obdobně jako u předchozího případu pouze s vertikálním zarovnáním.
- ◆ *Do polohy* – Pohledy jsou zarovnány v aktuální poloze, tj. mezi jejich středy je proložena přímka, po které bude možné posouvat zarovnaný pohled vzhledem ke zdrojovému.

Nastavení výkresů

Nastavení výkresů je velmi důležité, neboť umožní vlastní výkresové standardy a zvyklosti. Nastavení je možné provést v aktuálním výkrese nebo je zahrnout do šablony tak, aby bylo vždy při založení nového výkresu vše přednastaveno. Veškerá nastavení se provádí v menu *Formát* a volby *Editor stylů*.

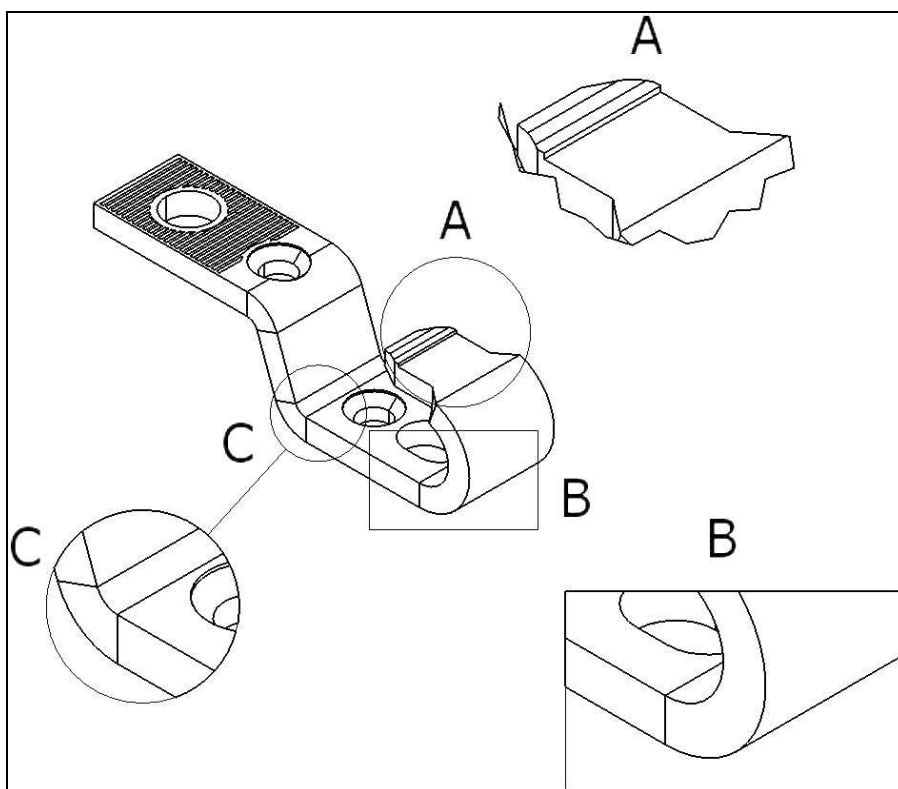


Obrázek 11 Okno pro Editor stylů a norem

1.4.2 Novinky v prostředí Výkres

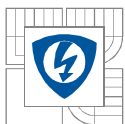
Konstruktéři se konečně dočkali dlouho očekávané funkce. Tato funkce se nazývá kótování v izometrických pohledech, kde se zobrazí skutečné rozměry. Mezi další novinky by se dala zařadit viditelnost pohledů, kterou lze vypnout pomocí funkce *Suppress* (*Vypnout*). Nemusí se tyto pohledy jak v předešlých verzích přemísťovat mimo výkres.

Příkaz *Detail View* (*Detail*) je vylepšen o nastavení ořezové křivky detailu. Lze zde nastavit jak od nepravidelného oříznutí detailu přes pravidelné kruhové (obdélníkové) oříznutí detailu až po pravidelné oříznutí se spojující se čarou, která spojí příčné oříznutí k sobě.



Obrázek 12 Názorná ukázka zobrazení detailu

Dalším vylepšením v této oblasti je šrafování v izometrických pohledech, také obtékání šraf okolo textu a poloviční šipka pro kótu. Některé fyzikální vlastnosti prvku lze přidat do popisového pole razítka. Mezi ně patří zejména hmotnost, hustota, objem a plocha.



1.5 Dynamická simulace

1.5.1 Seznámení s Dynamickou simulací

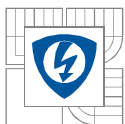
Dynamická simulace je prostředí zahrnuté v programu Autodesk Inventor Professional. Dynamické simulace slouží ke zjištění, jak se bude navrhovaný výrobek chovat při zatížení v reálném provozu. Cílem je zjistit zatížení ve vazbách, tedy ověřit si správnost dimenzování např. ložisek a tlumičů. Zatěžovací podmínky se mohou také v libovolném stavu pohybu exportovat do nástroje *Analýza napětí* a prohlédnout si, jak součásti reagují z konstrukčního pohledu na dynamické zátěže v libovolném bodu pohybového rozsahu sestavy.

Dynamická simulace obsahuje velmi širokou paletu funkcí a přizpůsobuje řadu pracovních postupů. Je ji možno provádět, je-li otevřena sestava.

Funkce, které se nachází v *Panelu nástrojů*, jsou zobrazeny na Obrázku 13.



Obrázek 13 Panel nástrojů Dynamické simulace



Stručný popis těchto funkcí je níže popsán a pro lepší orientaci jsou názvy funkcí v panelu nástrojů v *Dynamické simulaci* postupně přeloženy do češtiny.

- a) **Insert Joint (Vložit spoj)** – pomocí této funkce se dá vložit spoj mezi dvě součásti. Spoj si lze vybrat pomocí výběru z rozbalovací nabídky, či otevření dialogového okna *Tabulky spojů*. Nabízené spoje se dělí na čtyři základní skupiny a to na *Rolling joints (Valivé spoje)*, *Sliding joints (Posuvné spoje)*, *2D Contact joints (2D Dotykové spoje)* a *Force joints (Sílové spoje)*. Tyto základní skupiny se dále dělí na podskupiny, kde si konstruktér zvolí daný typ spoje pro dvě či více součástí.
- b) **Force (Síla), Torque (Točivý moment)** – tyto dvě funkce jsou si zcela podobné, proto jsou popisovány dohromady. Jak už vyplývá z názvu těchto funkcí, nastavuje se zde síla působící na prvek a točivý moment pro rotační součásti. Po otevření dialogového okna této funkce se zobrazí možnosti, které jsou níže popsány. Klepnutím na tlačítko *Apply (Použít)* se schválí nastavení točivého momentu nebo síly.

Location (Umístění) Zde se volí geometrie pro umístění točivého momentu nebo síly. Mezi geometrie, které lze zvolit, patří vrchol, kruhová hrana, bod náčrtu, kruh náčrtu, koncový bod úsečky, pracovní bod, apod.

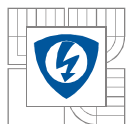
Direction (Směr) Výběr geometrií pro směr vektoru. Mezi geometrie, které lze zvolit, patří lineární hrany, rovinné plochy, pracovní osy, pracovní roviny, apod.

Magnitude (Velikost) Zde se zadává velikost hodnoty síly či točivého momentu. Zadat lze jak konstantní hodnotu, tak i proměnlivou hodnotu. Pro konstantní hodnotu se vybere položka *Constant value*. Pro proměnlivou hodnotu se vybere položka *Input grapher*, kde se otevře okno s grafem a navolí se hodnota síly, popř. točivého momentu.

Load Direction (Směr zatížení) Určuje směr zatížení *Pevný* nebo *Asociativní*.

Use Components (Použít komponenty) Zaškrtnutím tohoto políčka se povolí pole F_x (T_x), F_y (T_y) a F_z (T_z). Ovládací prvky *Velikost* a *Směr* nejsou dostupné. Podle potřeby se zadají konstantní či proměnlivé hodnoty.

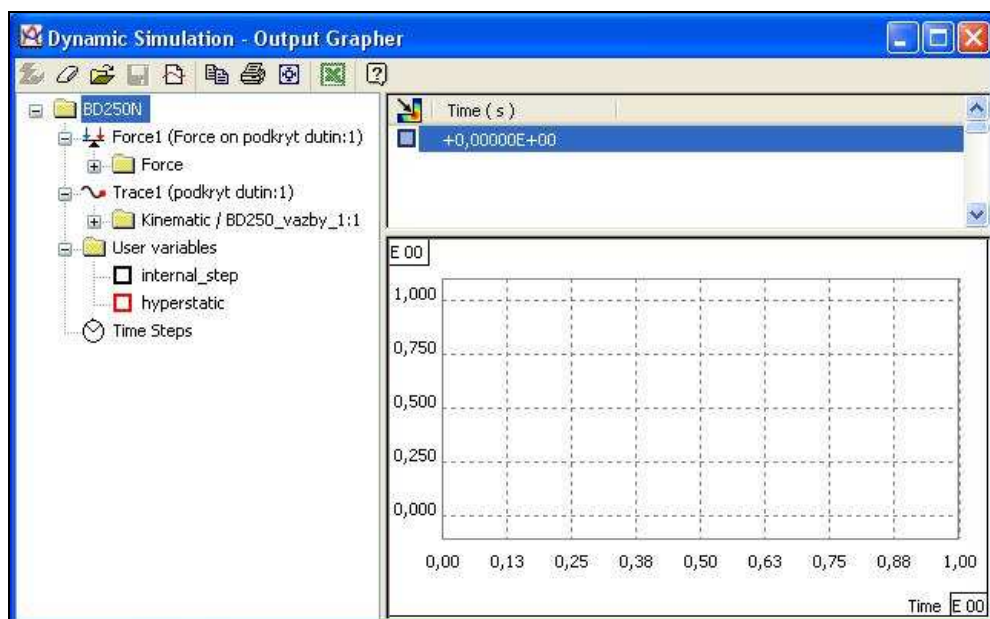
Display (Zobrazení) Po zaškrtnutí tohoto políčka se zadá měřítko a vyberou se barvy pro zobrazení.



- c) **Trace (Trasování)** – touto funkcí se při spuštění dynamické simulace zobrazují zadané veličiny. *Origin (Počátek)* - touto funkcí se vybere objekt pro definování bodu. Výběr referenčního tělesa, ve kterém se veličiny vypočítají, se vybere pomocí funkce *Reference*. Je zde také funkce *Scale (Měřítko)*, kde se nastaví měřítko a barvy pro zobrazení stopy. Klepnutím na buňku barvy se otevře dialog pole barev systému Microsoft Windows.
- d) **Convert Assembly Constraints (Převést vazby sestavy)** – Přenáší vazby ze sestavy do Dynamické simulace. Zvolením dvou součástí se zobrazí vazby jenom právě mezi těmito dvěma komponentami. Pořadí výběru je důležité, protože první těleso je těleso nadřazené. Pravidla pro přidávání spojů jsou stejná jako u funkce *Vložit spoj*, kde se podřazené těleso spojuje s tělesem nadřazeným.
- e) **Repair Redundancies (Opravit nadbytečnosti)** – Tato funkce opravuje nadbytečné vazby.
- f) **Output Grapher (Okno grafů)** – Použití výstupní aplikace pro tvorbu grafu, pro získání grafů a číselných hodnot všech vstupních a výstupních proměnných simulace během provádění a po dokončení simulace. Po tvorbě spoje vznikne přístup k proměnným na základě stromové struktury výběrů. Název složky v horní části stromu je název modelu, který se právě simuluje. Klepnutím na rámeček vedle proměnné se zobrazí křivka a číselné hodnoty. Kdykoli během simulace se může vybrat tolik proměnných, kolik je třeba. Každý spoj je uzel, kde asociované proměnné jsou seskupeny ve složkách:
- ◆ *Pozice, Rychlost, Zrychlení* pro každý stupeň volnosti.
 - ◆ *Síly spoje*: Lze zobrazit výslednou sílu nebo její složky.
 - ◆ *Hnací sílu, Velikost hnací síly* nebo *Krouticí moment* odpovídající vynucenému pohybu.
 - ◆ *Tenzor sil* (Síly a Momenty).

Pro valivé, posuvné a dotykové spoje jsou dostupné síly se svými tečnými a kolmými složkami. Každý akční člen (*pružina/tlumič/zdvihák*) má k dispozici výslednou sílu, její složky, délku a rychlost deformace.

Kdykoli je možno simulaci pozastavit a prohlédnout výsledky a potom simulaci opět spustit. Je-li zapotřebí změnit čas, poklepeme na něm v grafu. Pro zvětšení grafu pomocí funkce „zoom“ se klikne pravým tlačítkem na graf a tahem se vybere okno zvětšení. Procházením z pravého dolního rohu k hornímu rohu dochází ke vzdalování. Procházením z levého horního rohu k pravému dolnímu rohu dochází k přibližování.



Obrázek 14 Okno grafů

- g) **Dynamic Part Motion (Pohyb dynamické součásti)** – Po spuštění této funkce si konstruktér pomocí myši otestuje, zda soustava je dobře nasimulována.
- h) **Create AVI Animation (Vytvořit animaci AVI)** – Po spuštění této funkce se zobrazí okno pro uložení výstupního souboru, který bude ve formátu *.avi. Po potvrzení uložení se objeví okno pro kompresi videa. Zde si konstruktér vybere v jakém „codec“ bude výstupní video promítané. Po odkliknutí tlačítka OK se spustí nahrávání Grafického okna.
- i) **Export to FEA (Export do FEA)** – Po spuštění této funkce se zobrazí okno pro export do FEA. Na výběr pak je export buď do Analýzy napětí Autodesk Inventor Professional či simulaci v ANSYSu.
- j) **Unknown Force (Neznámá síla)** – Tato síla použije odhadovanou neznámou sílu pro danou polohu, požadované hodnoty (síla, kroučicí moment nebo zvedák) k udržení dynamického mechanismu ve statické rovnováze. Veškeré vnější vlivy jsou zohledněny (gravitace, pružina, vnější síly, síly kloubu atd.).
- k) **Dynamic Simulation Settings (Nastavení dynamické simulace)** – Výběrem políčka AIP Stress Analysis či ANSYS Simulation vybereme, zda export do FEA bude do programu Autodesk Inventor nebo zda do simulačního programu ANSYS. Po aktivaci volby Display a copyright in AVIs a vyplnění údajů o autorských právech na

soubory AVI se tento text objeví ve vytvořených souborech AVI v pravé dolní části animace.



Obrázek 15 Okno pro Nastavení dynamické simulace

1.5.2 Novinky v Dynamické simulaci

Většina novinek v Inventoru 2008 jsou vylepšené dočasné funkce. Mezi jedny z nich patří *Definice zatížení*. Pomocí editoru zátěžových profilů může konstruktér nastavit různé zatížení pohonů, krouticí momenty a časově založené silové funkce. Díky tomuto nástroji se může prozkoumat fungování navrženého stroje při nejrůznějších zatížení. Dále je vylepšena funkce *Okno grafů*. Pomocí komplexních funkcí pro sestavování grafů lze rychle prozkoumat, jak se dynamické charakteristiky návrhu mění v průběhu provozního cyklu stroje. V grafech lze vynést fyzikální parametry, jako jsou např. pozice, síla či zrychlení ve vztahu k času. Pomocí několika vynesení stejného grafu je možné porovnat různé vlastnosti v každém bodu provozního cyklu.

Mezi další vylepšení Inventoru patří převod vazeb. Nyní se může snadno a rychle nastavit dynamická simulace znázorňující chod navrženého stroje. Modul redukce vazeb analyzuje omezení soustavy, identifikuje relativní tuhá tělesa a generuje správné pohybové klouby pro simulaci.

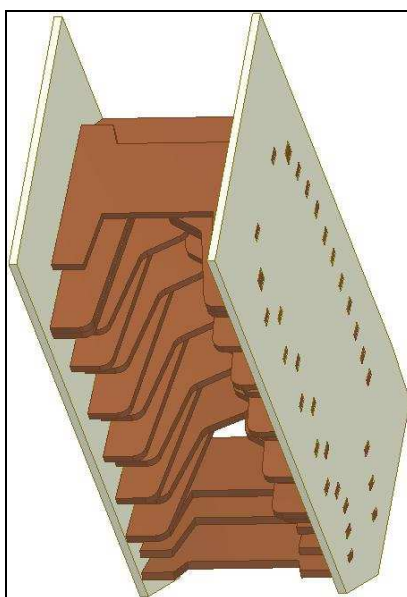
2 VLASTNOSTI JISTIČE BD250N A JEHO POUŽITÍ V ROZVODECH NN

Jistič je elektrický přístroj, který má za úkol chránit elektrické zařízení před nadměrným elektrickým proudem tzv. nadproudem. Tento jev se většinou objeví při přetížení nebo zkratu. Jistič automaticky rozpojí elektrický obvod a tím může chránit obsluhu před možným úrazem elektrickým proudem a chráněné elektrické zařízení před jeho poškozením. Na rozdíl od pojistky, která musí být vyměněna, lze jistič znovu zapnout a obnovit tak dodávku proudu do elektrického obvodu.

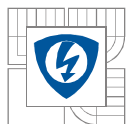
2.1 Seznámení s obecným jističem

Samostatný jistič je samočinný vypínač, který vypíná obvod při přetížení nebo zkratu. Většinou jsou konstruovány na zkratové proudy, jsou to tedy výkonové vypínače, na rozdíl od stykačů, které jsou konstruovány na vypínání jmenovitého proudu. Vypínací rychlost jističů je velká a celkově proběhne do setiny sekundy. Kontakty jističů jsou zpravidla palcové. Ke zhášení oblouku se používá zhášecí komora.

V přístrojích nízkého napětí, které pracují se střídavým proudem, se pro zhášení elektrického oblouku při vypínání používá nejčastěji zhášecí komora. Tato zhášecí komora se skládá z izolačních bočnic, mezi kterými jsou připevněny feromagnetické plíšky, které jsou různě tvarované, viz Obrázek 16.



Obrázek 16 Model zhášecí komory jističe BD250N



Při vypínání jističe se oblouk natahuje mezi kontakty, až dorazí k této zhášecí komoře, kde postupně do ní vniká a rozdělí se zde na několik menších obloučků. Spolupůsobením úbytku napětí a ochlazováním plíšků tady dochází k jeho uhašení. Mezi elektrickým obloukem a kovovými plíškami komory vzniká síla, která způsobuje pohyb oblouku a napomáhá vtahovat tento oblouk do zhášecí komory.

Jistič vypíná dva odlišné kategorie nadproudů. Mezi tyto kategorie patří zkraty a přetížení. Má-li jistič vypnout zkratové přetížení (tzn., že přes jistič prochází několikanásobný jmenovitý proud) musí být odpojen řádově v setině sekundy. Při přetížení jističe prochází jističem déle trvající průtok proudu 1,1 násobek jmenovitého proudu až dvojnásobek. Pro vypnutí těchto dvou poruch musí být jistič vybaven spouštěmi.

Spoušť je zařízení, které se skládá z proudové dráhy (vinutí) a mechanismu. Mechanismus se uvádí do činnosti silovým (elektromagnetickým nebo tepelným) účinkem proudu ve vinutí a vybavuje zámek nebo volnoběžku jističe.

Podle účelu dělíme spouště na:

- ◆ *nadproudové* – vinutí této spouště je připojeno v sérii s jištěným obvodem,
- ◆ *podpětové* – vinutí této spouště je připojeno k jištěnému obvodu paralelně.

Podle způsobu připojení rozeznáváme spouště:

- ◆ *primární* – tyto spouště jsou zapojeny přímo do jištěného obvodu,
- ◆ *sekundární* – jsou připojeny prostřednictvím přístrojového transformátoru.

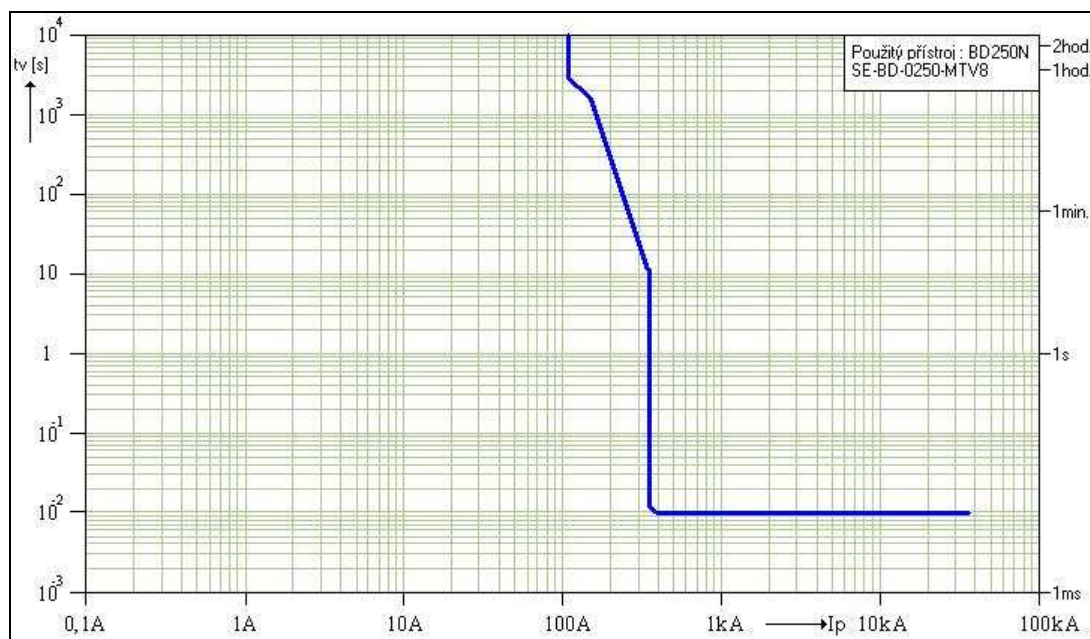
Principiálně je možné ještě spouště dělit na *přímé* a *nepřímé* podle toho, jestli působí přímo na zámek nebo volnoběžku, a nebo nepřímo prostřednictvím jiného zařízení. Nepřímá spoušť bývá často označována jako relé, v energetice se používá název ochrana.

Jednólové jističe se používají k jištění jednofázových spotřebičů a vedení. Jsou buď zhotoveny jako tzv. soklové jističe, které se vyrábějí pro jištění vedení, nebo motorů, nebo jako závitové a je možné je zašroubovat do pojistkového spodka.

Trojólové jističe se používají k jištění trojfázových spotřebičů a vedení. Vyrábějí se jako olejové či vzduchové. Obsahují zhášecí komoru pro uhašení oblouku.

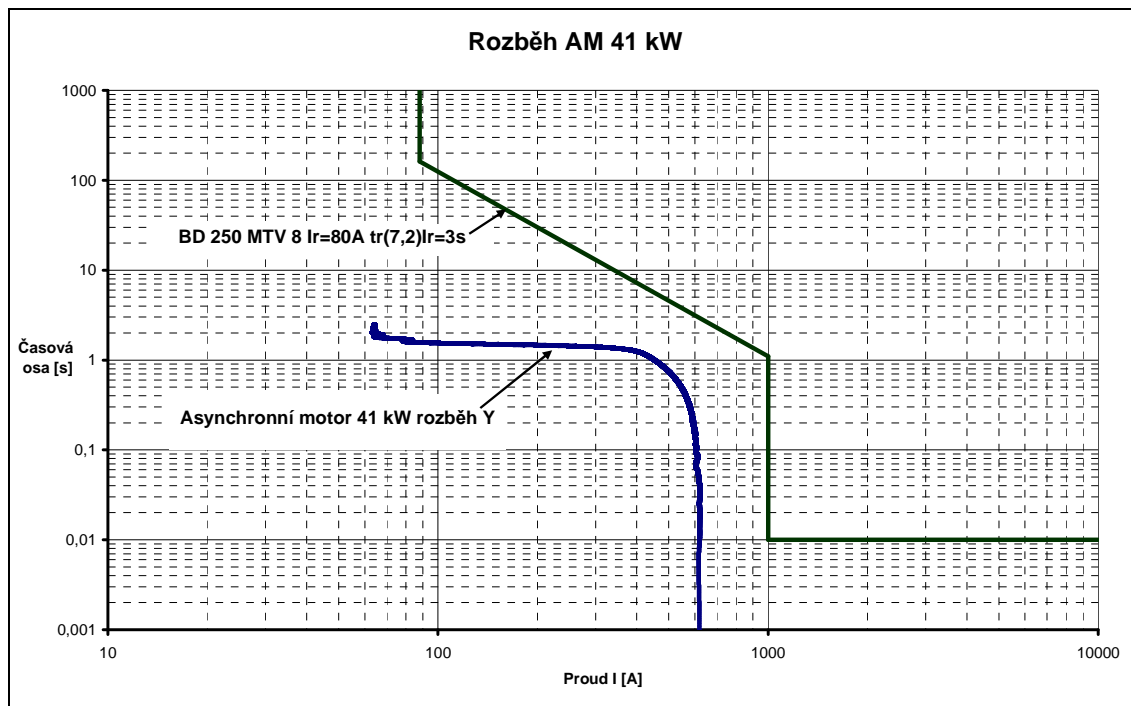
2.1.1 Charakterizující pojmy jističe

- ♦ *Jmenovité napětí U_n* – hodnota napětí stanovená výrobcem. Vztahují se na ni příslušné zkoušky, případně také kategorie užití. Spolu se jmenovitým (pracovním) proudem určuje použití přístroje. Nejvyšší hodnota jmenovitého pracovního napětí nesmí být v žádném případě větší než hodnota jmenovitého izolačního napětí U_i .
- ♦ *Zkratový proud I_k* – hodnota, kterou je jistič schopen vypnout. Pokud by tuto hodnotu jistič nedokázal vypnout, tekoucí proud elektrickým obvodem by svými dynamickými a tepelnými účinky mohl ohrozit elektrické zařízení (deformovat vodiče a tepelnými účinky poškodit jeho izolaci).
- ♦ *Vypínací charakteristika* – tato charakteristika vystihuje chování jisticího prvku v závislosti na nadproudech. Konkrétně udává, za jak dlouho jisticí prvek vypne, prochází-li jím určitý proud konstantní velikosti. Udává se formou tabulky nebo pro větší názornost a snadnější odečítání se vyjadřuje graficky v pravouhlých souřadnicích. Osy mají logaritmické stupnice. Proud bývá vyjádřen v násobcích jmenovitého proudu jisticího prvku nebo přímo v ampérech - příklad takové charakteristiky najdete na Obrázku 17.



Obrázek 17 Vypínací charakteristika jističe BD250N se spouští MTV8

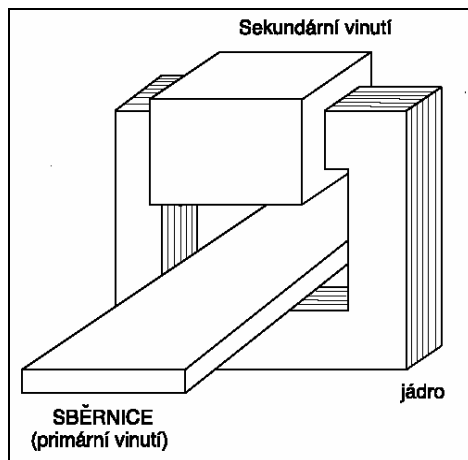
Motorové jističe určené pro ochranu prakticky všech elektromotorů musí být konstruované tak, aby vysoké záběrové proudy elektromotorů v klidovém stavu nevedly k jejich nežádoucímu vypnutí, což je dáno právě správnou vypínací charakteristikou jejich jističe.



Obrázek 18 Vypínací charakteristika jističe BD250N a rozběh asynchronního motoru

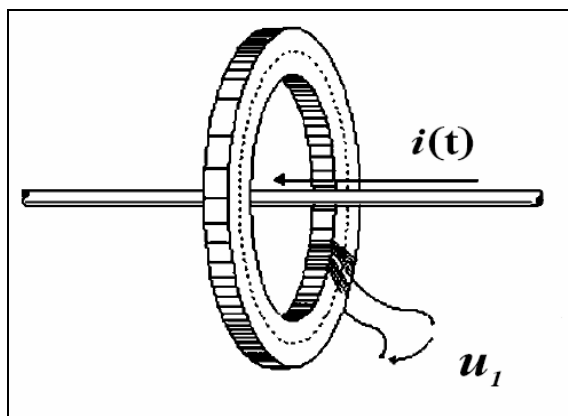
2.1.2 Vývojové generace jističů

Klasické jisticí přístroje prošly v posledních letech bouřlivým vývojem a došlo u nich k rozsáhlému využití elektroniky, zajišťující jak základní jisticí funkce, tak i přídavné funkce pro měření parametrů jištěného obvodu a jejich předávání do nadřazených řídicích systémů. V první generaci byly pro měření a vyhodnocení sledovaných veličin využívány analogové obvody (80. léta 20. století), s rozvojem informačních technologií byly od počátku 90. let. 20. století aplikovány digitální obvody. Právě využití digitálních obvodů otevřelo cestu pro začlenění této skupiny přístrojů do distribuovaných systémů řízení a ovládání toku elektrické energie. Mimo elektronických obvodů byla vyvíjena i vhodná čidla proudu.



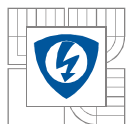
Obrázek 19 Měřicí proudový transformátor osazený na výstupní sběrnici

V první a druhé generaci elektronických jističů to jsou klasické měřicí transformátory proudu (Obrázek 19), které umožňovaly jak měření procházejícího proudu, tak i napájení elektronických obvodů spouště. Ve třetí generaci se pro rozšíření pracovního rozsahu jističe začalo používat dvou systémů transformátorů na každé měřené proudové dráze. Pro napájení elektronických obvodů spouště a vybavovacího relé je použit klasický měřicí transformátor proudu a pro přesné měření proudů je použita Rogowského cívka (Obrázek 20).



Obrázek 20 Provedení Rogowského cívky pro měření proudu protékajícím vodičem

Magnetizační charakteristika feromagnetického materiálu lisovaného jádra umožňuje navrhnout proudový transformátor tak, aby elektronické obvody pracovaly již při malých proudech, protékajících jističem. Naproti tomu magnetizační charakteristika vzduchového jádra Rogowského cívky je v širokém rozsahu proudů lineární. Určitým nedostatkem tohoto řešení je malé výstupní napětí Rogowského cívky.



2.2 Typy spouští jističe BD250N

Nadproudové elektronická spoušť tvoří samostatný záměnný blok, kterým se doplňuje spínací blok BD250. Záměnou nadproudové spouště lze snadno měnit rozsah jmenovitého proudu jističe.

Podle požadavků na přizpůsobení vypínací charakteristiky spouště jištěnému zařízení a variabilitě charakteristiky z pohledu selektivity jsou k dispozici spouště:

- ◆ *L001* – má jeden druh charakteristiky a pevně nastaveny hodnoty I_n a I_{rm}
- ◆ *DTV3* – má jeden druh charakteristiky s nastavením I_r a I_{rm}
- ◆ *MTV8* – má více druhů charakteristik s nastavením I_r , t_r a I_{rm}
- ◆ *MTV9* – má více druhů charakteristik s nastavením I_r , t_r , I_{rmv} a t_v
- ◆ *4D01* – má více druhů charakteristik s nastavením I_r , t_r , I_{rm} a I_N

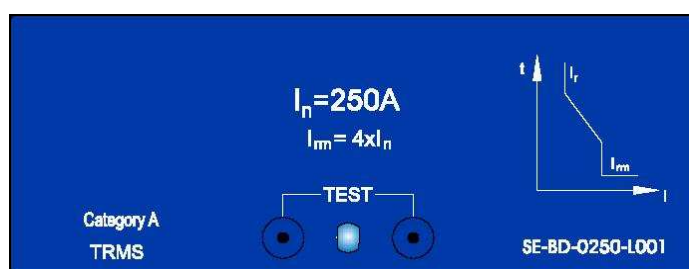
U spouští nezávisí jejich správná funkce na tvaru proudu v silovém obvodu. Činnost spouště zabezpečuje mikroprocesor, který zpracovává nevzorkovaný signál silového obvodu a přepočítává jej na efektivní hodnotu. Proto jsou spouště vhodné pro jištění obvodů, kde dochází ke zkreslení sinusového průběhu proudu vyššími harmonickými např. obvody s řízenými usměrňovači.

Všechny spouště jistí obvod proti zkratům a přetížení. Vypínací charakteristika spouští je nezávislá na okolní teplotě. Spoušť se do spínacího bloku upevňuje dvěma šrouby. Průhledný kryt regulačních prvků lze zaplombovat.

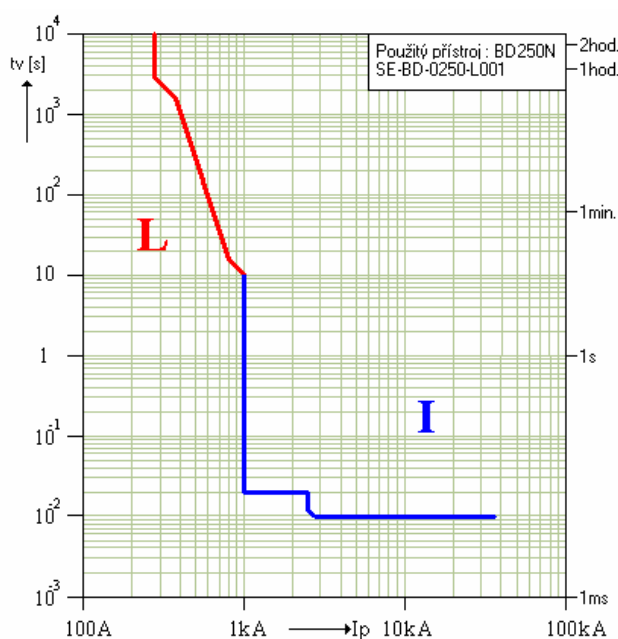
2.2.1 Nadproudová spoušť L001

Používá se výhradně k jištění vedení s nízkými záběrovými proudy. Tato spoušť je určena pouze pro spínací blok BD250. Spoušť má tepelnou paměť, kterou nelze vyřadit z činnosti. Jmenovité proudy spouští jsou dány jejím typovým označením. Jmenovitý proud je 250 A, zkratová spoušť je pevně stanovena na hodnotu $4I_n$.

Výhodou spouště je její jednoduchost, protože nevyžaduje žádné nastavení. Je proto učena do méně složitých aplikací. Spoušť L001 se nachází na Obrázku 21.



Obrázek 21 Nadproudová spoušť L001 - vedení



Obrázek 22 Vypínací charakteristika spouště L001

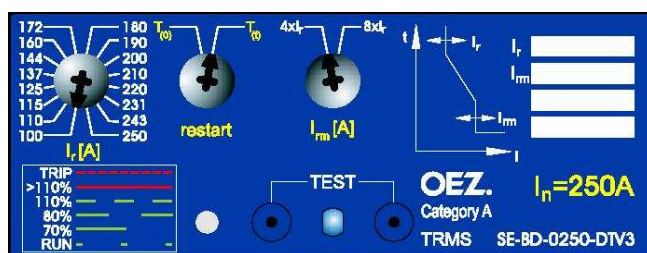
Tato charakteristika se dělí na dvě části:

- ♦ L – je pásmo malých nadproudů a zahrnuje oblast tepelného jištění.
- ♦ I – je pásmo velkých nadproudů a zahrnuje oblast jištění proti mezním zkratovým proudům.

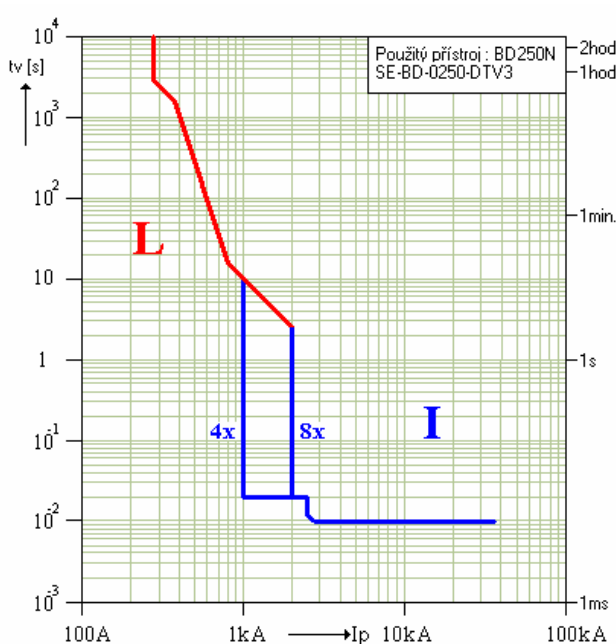
2.2.2 Nadproudová spoušť DTV3

Používá se především na jištění vedení a transformátorů. Tato spoušť je také určena jen pro spínací blok BD250. Činnost spouště řídí mikroprocesor. Spoušť je vybavena tepelnou pamětí, kterou lze vyřadit z činnosti přepnutím přepínače „Restart“ na čelním panelu z polohy $T_{(i)}$ do polohy $T_{(0)}$. Po vyřazení tepelné paměti zůstává tepelná spoušť v činnosti. Provozní stav 70% I_r (redukovaný jmenovitý proud) signalizuje LED dioda, která zeleně přerušovaně bliká v intervalu 1,5s. S rostoucím zatížením se frekvence doby svitu diody zvyšuje. Při větším zatížení než 110% I_r se tato LED dioda rozsvítí červeně a těsně před vypnutím začne červeně blikat. Na spodní části krytu jsou dva fotoprvky pro komunikaci s připravovaným signalizačním blokem.

Spouště mají pro praxi speciálně vytvarovanou vypínací charakteristiku, která umožňuje optimální vytíženost transformátorů v oblasti do 1,5 I_r . Spouště mají jednoduché nastavování vypínací charakteristiky. Nastavuje se pouze jmenovitý proud a úroveň vypínání zkratové spouště 4 I_r , nebo 8 I_r .



Obrázek 23 Nadproudová spoušť DTV3 - distribuční



Obrázek 24 Vypínací charakteristika spouště DTV3

Tato charakteristika se dělí na dvě části:

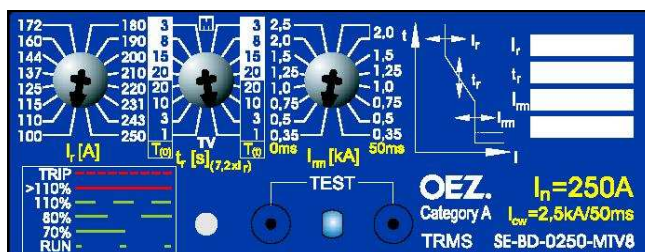
- ♦ L – je pásmo malých nadproudů a zahrnuje oblast tepelného jištění.
- ♦ I – je pásmo velkých nadproudů a zahrnuje oblast jištění proti mezním zkratovým proudům. U této spouště lze toto pásmo nastavit jmenovitý proud a úroveň vypínání zkratové spouště 4násobek I_r , nebo 8násobek I_r .

2.2.3 Nadproudová spoušť MTV8

Používá se především pro přímé jištění motorů a generátorů. Touto spouští lze také jistit vedení a transformátor. Spoušť je také určena jen pro spínací bloky BD250. Činnost spouště řídí mikroprocesor. Spoušť je vybavena tepelnou pamětí, kterou lze vyřadit z činnosti přepnutím přepínače na čelním panelu z polohy $T_{(1)}$ do polohy $T_{(0)}$. Po vyřazení tepelné paměti zůstává tepelná spoušť v činnosti. Při výpadku jedné či dvou fází nebo při proudu větším než $1,05 I_r$ ve zbývajících fázích v režimu M-charakteristik dojde k vypnutí se zpožděním 4s, tzv. proudová spoušť.

Dalším parametrem pro nastavení spouště je jmenovitý proud a úroveň vypínání zkratové spouště. U zkratové spouště lze nastavit zpoždění 0 nebo 50 ms. Provozní stav 70% I_r signalizuje LED dioda, která zeleně přerušovaně bliká v intervalu 1,5s. S rostoucím zatížením se frekvence doby svitu diody zvyšuje. Při větším zatížení než 110 % I_r se tato LED dioda rozsvítí červeně a těsně před vypnutím začne červeně blikat. Na spodní části krytu spouště jsou dva fotoprvky pro komunikaci s připravovaným signalizačním blokem.

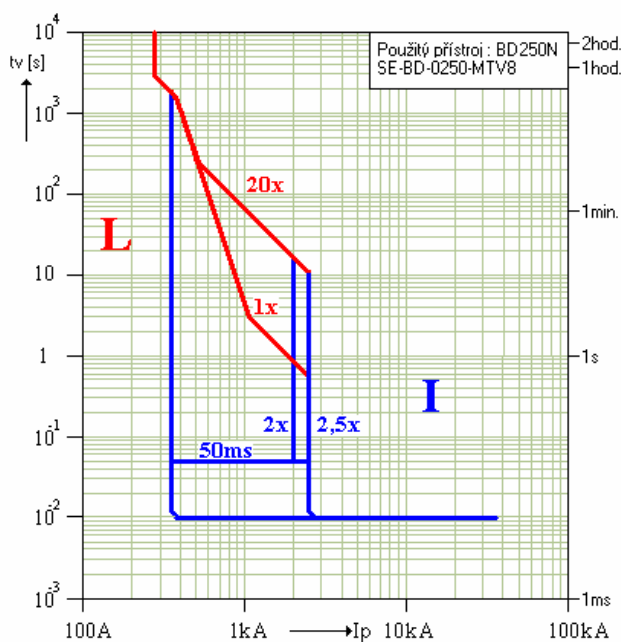
Spouště mají pro praxi speciálně vytvořenou vypínací charakteristiku, která umožňuje optimální vytížení transformátoru v oblasti do $1,5 I_r$. Na spoušti je možné nastavit celkem 8 charakteristik. Z toho jsou v režimu „M“ 4 charakteristiky vhodné pro jištění motorů a v režimu „TV“ také 4 charakteristiky pro jištění transformátorů a vedení. Změna tvaru charakteristiky se volí přepínačem.



Obrázek 25 Nadproudová spoušť MTV8 - motory

Tato charakteristika se dělí na dvě části:

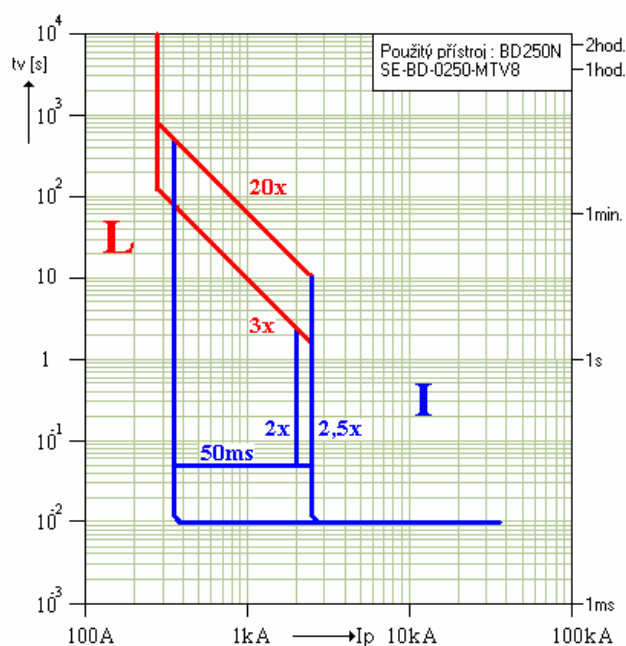
- ♦ L – je pásmo malých nadproudů a zahrnuje oblast tepelného jištění. Toto pásmo lze nastavit na 1; 3; 10; 20násobek t_r . Na Obrázku 26 jsou zobrazené vždy jen mezní hodnoty nastavení.
- ♦ I – je pásmo velkých nadproudů a zahrnuje oblast jištění proti mezním zkratovým proudům. V této oblasti lze toto pásmo nastavit jmenovitý proud a úroveň vypínání zkratové spouště 0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5násobek I_r bez zpoždění zkratové spouště nebo 0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 2násobek I_r se zpožděním 50ms zkratové spouště.



Obrázek 26 Vypínací charakteristika spouště MTV8 - "TV"

Následující charakteristika se dělí také na dvě části:

- ♦ L – je pásmo malých nadproudů a zahrnuje oblast tepelného jištění. Toto pásmo lze nastavit na 3; 8; 15; 20násobek t_r . Na obrázku 27 jsou zobrazené vždy jen mezní hodnoty nastavení.
- ♦ I – je pásmo velkých nadproudů a zahrnuje oblast jištění proti mezním zkratovým proudům. V této oblasti lze toto pásmo nastavit jmenovitý proud a úroveň vypínání zkratové spouště 0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5násobek I_r bez zpoždění zkratové spouště nebo 0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 2násobek I_r se zpožděním 50ms zkratové spouště.



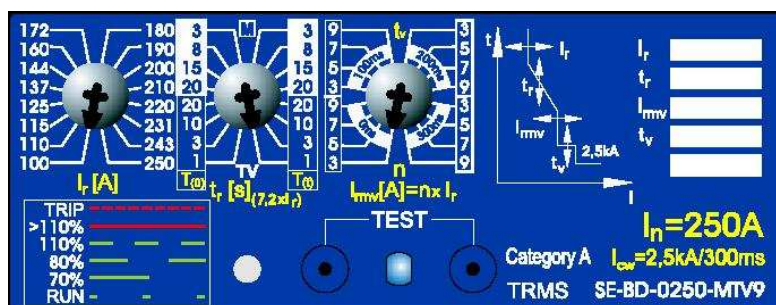
Obrázek 27 Vypínací charakteristika spouště MTV8 - "M"

2.2.4 Nadproudová spoušť MTV9

Používá se především pro přímé jištění motorů a generátorů. Touto spouští lze také jistit vedení a transformátory a umožňuje nastavit zpoždění nezávislé spouště. Činnost spouště řídí mikroprocesor. Spoušť je vybavena tepelnou pamětí, kterou lze vyřadit z činnosti přepnutím přepínače na čelním panelu z polohy $T_{(1)}$ do polohy $T_{(0)}$. Po vyřazení tepelné paměti zůstává tepelná spoušť v činnosti. Při výpadku jedné či dvou fází nebo při proudu větším než $1,05 I_r$, ve zbývajících fázích v režimu M-charakteristik dojde k vypnutí se zpožděním 4s, tzv. proudová spoušť.

Dalším parametrem pro nastavení spouště je jmenovitý proud a úroveň vypínání zpožděné zkratové spouště. U zpožděné zkratové spouště lze nastavit zpoždění t_v 0, 100, 200 nebo 300 ms. Provozní stav $70\% I_r$ signalizuje LED dioda, která zeleně přerušovaně bliká v intervalu 1,5s. S rostoucím zatížením se frekvence doby svitu diody zvyšuje. Při větším zatížení než $110\% I_r$ se tato LED dioda rozsvítí červeně a těsně před vypnutím začne červeně blikat. Na spodní části krytu spouště jsou dva fotoprvky pro komunikaci s připravovaným signalizačním blokem.

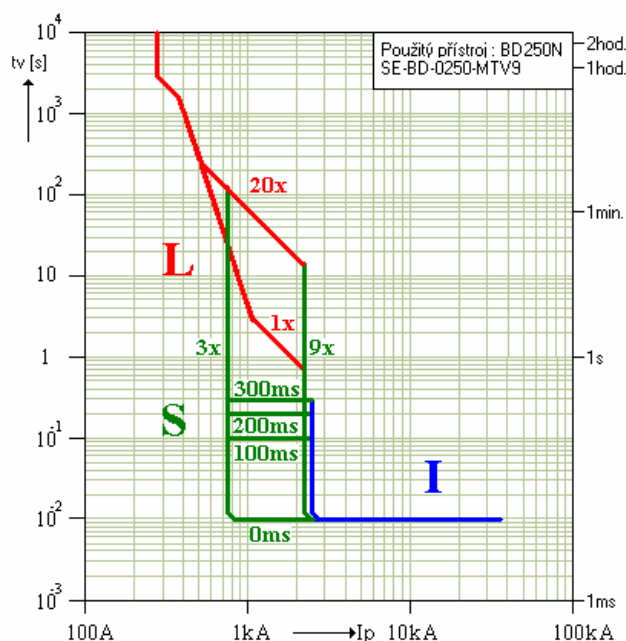
Spouště mají pro praxi speciálně vytvořenou vypínací charakteristiku, která umožňuje optimální vytížení transformátoru v oblasti do $1,5 I_r$. Na spoušti je možné nastavit celkem 8 charakteristik. Z toho jsou v režimu „M“ 4 charakteristiky vhodné pro jištění motorů a v režimu „TV“ také 4 charakteristiky pro jištění transformátorů a vedení. Změna tvaru charakteristiky se volí přepínačem.



Obrázek 28 Nadproudová spoušť MTV9 - motory, nastavení časové selektivity

Tato charakteristika se dělí na tři části:

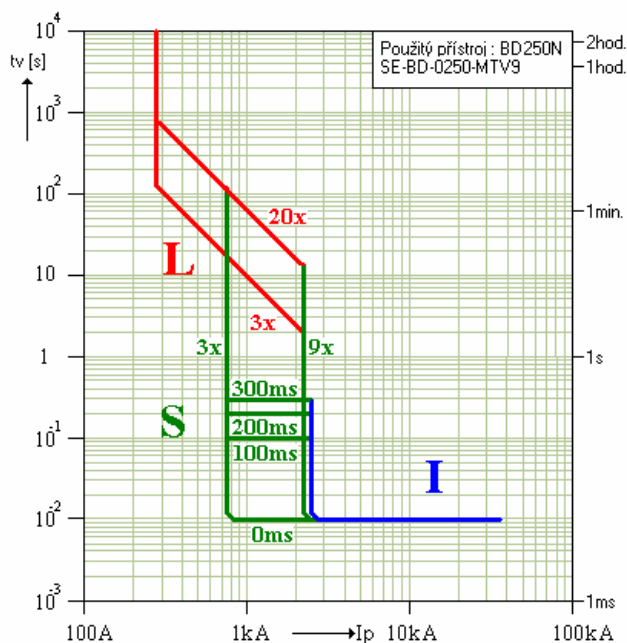
- ♦ L – je pásmo malých nadproudů a zahrnuje oblast tepelného jištění. Toto pásmo lze nastavit na 1; 3; 10; 20násobek t_r . Na Obrázku 29 jsou zobrazené vždy jen mezní hodnoty nastavení.
- ♦ S – je pásmo středních nadproudů a zahrnuje oblast jištění vzdálených zkratů na vedení. Vypínání těchto malých zkratových proudů je možné pro dosažení selektivity jisticích přístrojů záměrně zpoždit. U této spouště je možné nastavit zpoždění 0, 100, 200 nebo 300ms.
- ♦ I – je pásmo velkých nadproudů a zahrnuje oblast jištění proti mezním zkratovým proudům.



Obrázek 29 Vypínací charakteristika spouště MTV9 - "TV"

Následující charakteristika se dělí také na tři části:

- ♦ L – je pásmo malých nadproudů a zahrnuje oblast tepelného jištění. Toto pásmo lze nastavit na 3; 8; 15; 20násobek t_r . Na Obrázku 30 jsou zobrazeny vždy jen mezní hodnoty nastavení.
- ♦ S – je pásmo středních nadproudů a zahrnuje oblast jištění vzdálených zkratů na vedení. Vypínání těchto malých zkratových proudů je možné pro dosažení selektivity jisticích přístrojů záměrně zpoždit. U této spouště je možné nastavit zpoždění 0, 100, 200 nebo 300ms.
- ♦ I – je pásmo velkých nadproudů a zahrnuje oblast jištění proti mezním zkratovým proudům.



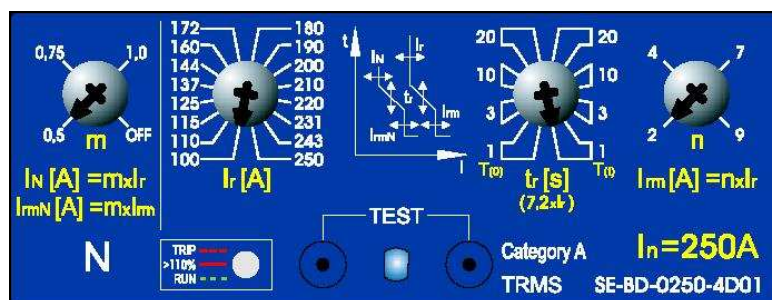
Obrázek 30 Vypínací charakteristika spouště MTV9 - "M"

2.2.5 Nadproudová spoušť 4D01

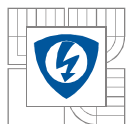
Používá se výhradně na jištění transformátorů v sítích TN-C-S a TN-S. Tato spoušť je určena pro spínací blok BD250...406. Činnost spouště řídí mikroprocesor. Spoušť je vybavena tepelnou pamětí, kterou lze vyřadit z činnosti přepnutím přepínače na čelním panelu z polohy $T_{(i)}$ do polohy $T_{(0)}$. Po vyřazení tepelné paměti zůstává tepelná spoušť v činnosti. Lze zde nastavit jmenovitý proud I_r , dobu zpoždění vypnutí spouště při $7,2I_r$ a úroveň vypínání zkratové spouště.

Provozní stav signalizuje LED dioda, která zeleně přerušovaně bliká v intervalu 1,5s. S rostoucím zatížením se frekvence doby svitu diody zvyšuje. Při větším zatížení než 110 % I_r se tato LED dioda rozsvítí červeně a těsně před vypnutím začne červeně blikat. Na spodní části krytu spouště jsou dva fotoprvky pro komunikaci s připravovaným signalizačním blokem.

Proud čtvrtého pólu (N pólu) se nastavuje přepínačem I_N jako násobek proudu I_r . Měření proudu čtvrtého pólu lze vyřadit přepnutím přepínače do polohy „OFF“.



Obrázek 31 Nadproudová spoušť 4D01 - distribuční s jištěním N pólu



2.3 Dimenzování a jištění elektrických vedení

2.3.1 Určení výpočtového zatížení vedení

Při projektování elektrických rozvodů v jakémkoli objektu se musí navrhnout, kde bude maximální odběr, na který musí být dimenzováno vedení, napájecí zdroj (např. transformátor), jističí přístroje apod. Kdyby se jen sečetly výkony všech spotřebičů, které budou v objektu, a na tyto spotřebiče by se dimenzoval elektrický rozvod, bylo by to nevhodné, protože je velmi malá pravděpodobnost, že všechny spotřebiče by pracovaly současně a na plný výkon. Proto určujeme takzvané výpočtové zatížení P_v .

$$P_v = \beta \sum P_i \quad (1)$$

Z výpočtového zatížení určíme potom výpočtový proud (pro trojfázový rozvod):

$$I_v = \frac{P_v}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (2)$$

2.3.2 Stanovení průřezu

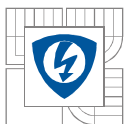
Při stanovení průřezu je nutné, aby vedení bylo dostatečně pevné, hospodárné, odolávalo účinkům zkratových proudů, nezpůsobilo nedovolený úbytek napětí. Nejprve se vypočte dovolený proud kabelu. Tento dovolený proud se vypočte násobením přepočítávacích součinitelů dle způsobů uložení, počtu kabelů vedle sebe či okolní teploty. Po vypočtení dovoleného proudu kabelu se podle *Přílohy 1* navrhne materiál a průřez vedení kabelu.

$$I_z = I_n \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_i \quad (3)$$

2.3.3 Dimenzování vedení podle úbytku napětí

Dovolený úbytek napětí dle ČSN EN 50160 je $\pm 10\% U_n$, kde vodiče musí být dimenzovány tak, aby při předpokládaném zatížení nezpůsobily dovolený pokles napětí.

$$\Delta U = \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot \frac{P_v}{U} \quad (4)$$



2.3.4 Dimenzování vedení podle účinků zkratových proudů

Vodiče musí být dimenzovány tak, aby odolaly dynamickým a tepelným účinkům zkratových proudů. (viz ČSN 33 2000-4-473, ČSN 33 3020, ČSN 33 3015 a ČSN 33 3040).

Při výpočtu zkratových proudů se nejdříve provede přepočet nadřazené sítě na sekundární stranu transformátoru

$$R_{S1} = \frac{U^2}{S_1} \cdot \cos \varphi_S, \quad X_{S1} = \frac{U^2}{S_1} \cdot \sin \varphi_S \quad (5)$$

Impedance transformátoru se vypočítá

$$R_T = \frac{(P_{Cu} \cdot U^2)}{S_2^2}, \quad Z_T = u_K \cdot \frac{U^2}{S_2}, \quad X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (6)$$

Odpory a reaktance kabelu se vypočtou

$$X_V = l \cdot X_L, \quad R_V = \rho_{Cu} \cdot \frac{l}{S} \cdot (1 + \alpha_{Cu} \cdot \Delta v) \quad (7)$$

Zkratové proudy se vypočtou

$$I_{K1} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2}} \quad (8)$$

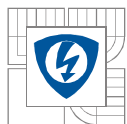
Ochrana vedení proti zkratu lze zkontrolovat zda navržený jistící přístroj nepropustí I^2t větší než, který odpovídá $k^2 S^2$ zvoleného vodiče.

$$I^2 t \leq k^2 S^2, \quad I^2 t = \frac{c_v \cdot S^2 \cdot \Delta v}{\rho} \quad (9)$$

Z uvedeného vztahu je patrné, že maximální I^2t je úměrný kvadrátu průřezu vedení, z toho vyplývá, že lze očekávat větší problémy u malých průřezů vedení.

2.3.5 Dimenzování vedení podle hospodárnosti

Z hlediska nároků na optimální pořizovací náklady, provoz a údržbu je nutné dimenzovat vedení tak, aby nebylo zatěžováno více, než hospodárným proudem. Normalizace této problematiky je obtížná.



2.4 Jištění transformátorů

Transformátor patří k nejspolehlivějším elektrickým strojům. Má poruchy řídké, přesto se musí jistit z důvodů vážných následků.

2.4.1 Možné závady

Závady na transformátorech se především dělí na jednofázové nebo několikafázové zkraty ve vinutí. Mezi dalšími možnými závadami se řadí mezizávitové zkraty ve vinutí, či spojení závitů spolu s kostrou. Transformátor můžou ohrozit nejen vnitřní poruchy, ale také vnější poruchy, jako například zkrat v síti v blízkosti transformátoru. Transformátor se přetíží a špatně odvádí teplo. Všechny tyto stavy jako je zvýšené oteplení musí jistící prvky reagovat a v případě nebezpečných poruch musí odpojit transformátor.

Transformátor se jistí na primární straně pomocí VN pojistek a na sekundární straně pomocí NN pojistek, jističů nebo obojí. Primární patrony je třeba volit tak, aby bylo dosaženo přirozené selektivity. Ve všech případech je třeba znát zkratové proudy I_K před a za transformátorem, u přístrojů pak správnou vypínací schopnost a zkratovou odolnost.

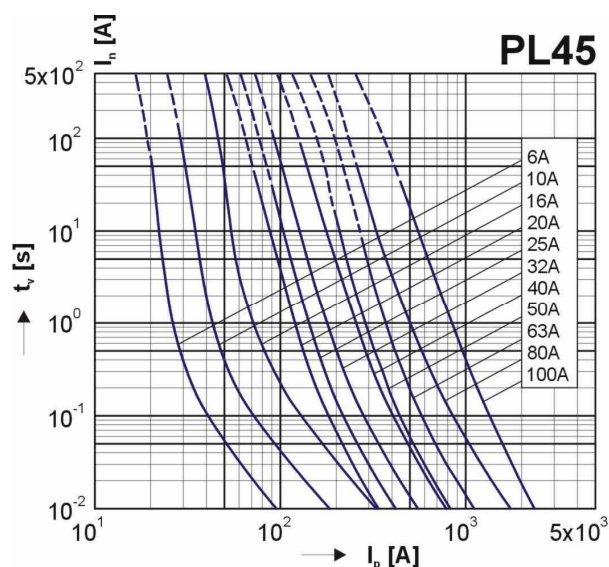
2.4.2 Přiřazování VN pojistek

Vysokonapětové pojistkové vložky řady PL, PM, PQ se používají pro jištění VN strany transformátorů. Základními částmi VN pojistkové vložky je pouzdro, keramický nosič, na němž je navinut tavný vodič, hasivo a kontaktní víčka, z nichž jedno je opatřeno ukazatelem stavu. Tento ukazatel slouží uživateli nejen k vizuální indikaci přetavení pojistky, ale může se též použít k aktivaci dalšího příslušenství. V případě poruchy se může tímto způsobem pojistka na jedné fázi iniciovat odpojení zbývajících fází systému.

Pojistka PL 45 má tyto řady jmenovitých proudů od $I_n = 6A$ do $100A$ při $U_n = 10/12 kV$

Pojistka PM 45 má tyto řady jmenovitých proudů od $I_n = 6A$ do $63A$ při $U_n = 22/25 kV$

Pojistka PQ 45 má tyto řady jmenovitých proudů od $I_n = 6A$ do $50A$ při $U_n = 35/38,5 kV$



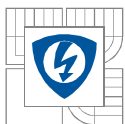
Obrázek 32 Charakteristika VN pojistky PL45

2.4.3 Funkce pojistky vysokého napětí a zásady pro navrhování VN pojistek

Pojistka vysokého napětí jistí vedení při zkratu na primárních svorkách transformátoru. VN pojistková vložka musí vydržet nárazový magnetizační proud transformátoru o velikosti 12-ti násobku jmenovitého proudu transformátoru po dobu 0,1s. Při závitovém zkratu transformátoru omezuje destrukci transformátoru.

Při zkratu na sekundárních svorkách jistí vinutí proti poškození a VN pojistková vložka musí tento zkrat odpojit do 2 s. Při zkratu na sekundárních svorkách transformátoru musí být minimální vypínací proud VN pojistkové vložky menší než proud, který se při tomto zkratu může v obvodu na primární straně vyvinout. VN pojistková vložka musí být selektivní s NN pojistkovou vložkou nebo jističem použitým na sekundární straně transformátoru.

VN pojistka nejistí před přetížením transformátoru. Tuto ochranu musí zajistit ochrana na straně nízkého napětí.



2.5 Návrh vedení od distribučního transformátoru ELIN 22/0,42 kV, S = 160kVA

2.5.1 Návrh jištění na sekundární straně transformátoru

Parametry distribučního transformátoru ELIN jsou následující. Jmenovité napětí primární strany je 22kV, jmenovité napětí na sekundární straně je 420V. Zdánlivý výkon transformátoru je 160 kVA. Jmenovitý proud je 220A. Procentní napětí nakrátko transformátoru je $u_k=4\%$ a tudíž počáteční rázový zkratový proud je 25krát větší $I_k=5,5\text{kA}$.

Jelikož jmenovitý proud transformátoru na sekundární straně je 220A volím na jištění sekundární strany jistič BD250N se spouští DTV3 o jmenovitém proudu 250A. Pomocí spouště nastavím jmenovitý redukováný proud na hodnotu 220A. Nastavení nezávislé okamžité spouště nastavím pouze jen na 4násobek jmenovitého redukováného proudu, neboť při nastavení 8násobku se zkratová spoušť „posune“ na hodnotu 1,8kA a mohlo by dojít k nevypínání vzdálených zkratů. Spoušť DTV3 vypne zkratový proud transformátoru $I_k=5,5\text{kA}$ bez jakýkoliv potíží. Na přiloženém CD se nachází také výpočet vytvořený pomocí programu SICHR. Níže uvedené výpočty jsou uvedeny jako příklad jedné dané větve.

2.5.2 Určení výpočtového zatížení vedení

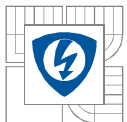
Podle rovnice (1) se vypočte zatížení vedení. Při jednom spotřebiči se volí činitel náročnosti $\beta = 1$. Instalovaný výkon spotřebiče je $P_i = 55 \cdot 10^3 \text{ W}$

$$P_V = \beta \cdot \sum P_i$$
$$P_V = 1 \cdot 55 \cdot 10^3$$
$$\underline{\underline{P_V = 55 \cdot 10^3 \text{ W}}}$$

Podle rovnice (2) se spočítá výpočtový proud a poté dle přílohy 2 se zvolí jistící prvek. V našem případě pojistka. Výkonové zatížení vedení je $P_V = 55 \cdot 10^3 \text{ W}$, sdružené napětí $U = 420\text{V}$, účinník motoru je $\cos \varphi_M = 0,8$.

$$I_V = \frac{P_V}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi_M}$$
$$I_V = \frac{55 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420 \cdot 0,8}$$
$$\underline{\underline{I_V = 94,5\text{A}}}$$

Volím pojistku **PN1 gG 100A**.



2.5.3 Stanovení průřezu

Podle rovnice (3) se spočítá dovolené proudové zatížení z důvodu způsobu uložení kabelu. Přepočítávající součinitele se určí dle způsobu uložení, okolní teploty, popřípadě počtu uložených kabelů vedle sebe *Příloha 3*. Poté dle *Přílohy 1* se navrhne materiál a průřez vedení kabelu. Kabel je uložený na stěně, teplota okolí 30° , tedy součinitel $k = 1$. Jmenovitý proud jisticího prvku je $I_n = 100A$

$$I_Z = I_n \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_i$$

$$I_Z = 100 \cdot 1$$

Volím kabel **CYKY 4x35mm²**.

$$\underline{\underline{I_Z = 100A}}$$

2.5.4 Dovolенý úbytek napětí

Podle rovnice (4) se vypočítá dovolený úbytek napětí, který musí být v toleranci $\pm 10\% U_n$. Měrný odpor měděného vodiče je $\rho = 0,0178 \Omega \cdot mm^2 / m$, délka kabelu je $l = 65m$, průřez kabelu je $S = 35mm^2$. Vypočtené zatížení vedení je $P_V = 55 \cdot 10^3 W$ a sdružené napětí $U = 420V$.

$$\Delta U = \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot \frac{P_V}{U}$$

$$\Delta U = \frac{0,0178 \cdot 65}{35} \cdot \frac{55 \cdot 10^3}{420}$$

$$\underline{\underline{\Delta U = 4,33V}}$$

Dovolené tolerance dle ČSN EN 50160 je $\pm 10\% U_n$, $\Delta U \approx 1,03\%$.

2.5.5 Dimenzování vedení podle účinků zkratových proudů

Podle rovnic (6), (7), (8) vypočteme zkratové proudy jak za transformátorem, tak i na konci vedení. Účinník sítě je $\cos \varphi_s = 0,15$, zdánlivý výkon nadřazené sítě je $S_1 = 500MVA$, zdánlivý výkon transformátoru je $S_2 = 160kVA$. Procentní napětí nakrátko $u_K = 4\% = 0,04$, měrná reaktance vodiče $X_L = 0,086 \Omega / km$, teplotní součinitel el. odporu $\alpha_{Cu} = 0,004 K^{-1}$, oteplení vodičů $\Delta v = 40K$.

$$R_{S1} = \frac{U^2}{S_1} \cdot \cos \varphi_s$$

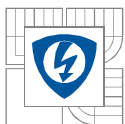
$$X_{S1} = \frac{U^2}{S_1} \cdot \sin \varphi_s$$

$$R_{S1} = \frac{420^2}{500 \cdot 10^6} \cdot 0,15$$

$$X_{S1} = \frac{420^2}{500 \cdot 10^6} \cdot 0,988$$

$$\underline{\underline{R_{S1} = 53 \mu\Omega}}$$

$$\underline{\underline{X_{S1} = 348,8 \mu\Omega}}$$



$$R_T = \frac{P_K \cdot U^2}{S_2^2}$$

$$R_T = \frac{2350 \cdot 420^2}{160000^6}$$

$$\underline{\underline{R_T = 16,2m\Omega}}$$

$$Z_T = u_K \cdot \frac{U^2}{S_2}$$

$$Z_T = 0,04 \cdot \frac{420^2}{160000}$$

$$\underline{\underline{Z_T = 44,1m\Omega}}$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

$$X_T = \sqrt{44,1^2 - 16,2^2}$$

$$\underline{\underline{X_T = 41m\Omega}}$$

$$X_V = X_L \cdot l$$

$$X_V = 0,086 \cdot 65 \cdot 10^{-3}$$

$$\underline{\underline{X_V = 5,59m\Omega}}$$

$$R_V = \rho_{Cu} \cdot \frac{l}{S} \cdot (1 + \alpha_{Cu} \cdot \Delta v)$$

$$R_V = 0,0178 \cdot \frac{65}{35} \cdot (1 + 0,004 \cdot 40)$$

$$\underline{\underline{R_V = 38,35m\Omega}}$$

$$I_{K1} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_T + R_{S1})^2 + (X_T + X_{S1})^2}}$$

$$I_{K1} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(16,2 + 0,053)^2 + (41 + 0,3488)^2}}$$

$$\underline{\underline{I_{K1} = 5,46kA}}$$

$$I_{K2} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_T + R_{S1} + R_V)^2 + (X_T + X_{S1} + X_V)^2}}$$

$$I_{K2} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(16,2 + 0,053 + 38,35)^2 + (41 + 0,3488 + 5,59)^2}}$$

$$\underline{\underline{I_{K2} = 3,368kA}}$$

Podle rovnic (9) vypočteme ochrana vedení proti zkratu a zkontrolujeme, zda navržený jisticí přístroj nepropustí I^2t větší než ten, který odpovídá k^2S^2 zvoleného vodiče. Měrné objemové teplo $c_v = 3,4 \cdot 10^6$, průřez vedení je $S = 35mm^2$, oteplení je $\Delta v = 40K$ a měrný odpor měděného vodiče je $\rho = 0,0178\Omega \cdot mm^2 / m$. Konstanta zahrnující vlastnosti materiálu a odpovídající dovolenému oteplení měděného vodiče je $k = 115$.

$$I^2t = \frac{c_v \cdot S^2 \cdot \Delta v}{\rho}$$

$$I^2t = \frac{3,4 \cdot 10^6 \cdot 35^2 \cdot 40}{0,0178}$$

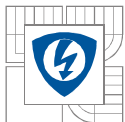
$$\underline{\underline{I^2t = 9,36 \cdot 10^6 A^2s}}$$

$$k^2S^2 = 115^2 \cdot 35^2$$

$$\underline{\underline{k^2S^2 = 1,62 \cdot 10^7 A^2s}}$$

$$I^2t \leq k^2S^2$$

$$\underline{\underline{9,36 \cdot 10^6 \leq 1,62 \cdot 10^7}}$$



3 VYTVOŘENÍ ANIMACE MODELU JISTIČE BD250N

Jakmile sestava splňovala všechny podmínky (hlavně co se týče vazeb), byla vytvořena animace daného modelu. Po rozložení sil byla pomocí funkce *Vytvořit animaci AVI* vytvořena animace. Tato animace se nachází na přiloženém CD-R spolu s popisem pracovního postupu vytvoření a animace modelu.

4 DODATEK

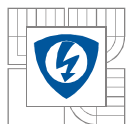
CD-R s obsahem animace modelu jističe BD250N

5 POPIS PŘÍSTROJOVÉHO A PROGRAMOVÉHO VYBAVENÍ

Autodesk Inventor Professional 2008

SolidWorks 2006

Sichr 7



6 ZÁVĚR

Autodesk Inventor byl vytvořen tak, aby při navrhování ve 3D bylo co nejsnazší. Žádná taková společnost se nesnaží jako Autodesk, aby pomáhala konstruktérům rychleji a efektivněji pracovat. Nová verze Programu Autodesk Inventor 2008 je ještě více kompatibilnější s programem AutoCAD.

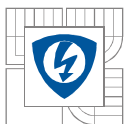
Mezi největší novinky v režimu *Náčrt* se objevili nové příkazy *Měřítka* a *Prodloužit*. Objevila se zde také možnost vybrat si kreslicí menu bez popisku, což převážně uvítají konstruktéři vlastníci malý monitor. Mezi další změny patří zobrazování 2D vazeb. Ikony vazeb jsou nyní přichyceny k náčrtu a při natáčení roviny se spolu s náčrtem otáčejí. Rovněž značky vazeb se změnily. V této verzi jsou nyní větší a tím pádem i přehlednější. Při výběru dané entity dojde k zvýraznění všech 2D vazeb, které se vztahují k dané entitě.

V režimu *Modelování součástí* je možnost definování příkazu *Vysunutí*. V tomto odvětví se také objevil nový příkaz *Ohnutí*. Tento příkaz pracuje podobně jako v modulu *Plechové díly*. Ohyb je definován pomocí čáry v náčrtu v místě ohybu. Můžeme nastavit jak rádius, úhel, stranu ohybu, tak i směr ohybu. Tato funkce se hodí, když je zapotřebí ohnout jen pár prvků a nevyplatí se zde, či se nehodí, používat modul *Plechové díly*.

Novinky v režimu *Prostředí plechy* lze shrnout následujícím způsobem. Jako krok k zprehlednění a zlepšení orientace lze chápat integraci rozvinu přímo do prohlížeče. To znamená, že při přepnutí na rozvin se již neotvírá nové samostatné okno, ale jednoduše se přepíná mezi modelem a rozvinem. Příkaz *Obruba* je vylepšen o možnost vybrat více hran najednou. Toto vylepšení oproti předešlým verzím značně urychluje práci.

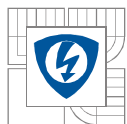
V *Dynamické simulaci* jsou vylepšené dočasné funkce. Mezi jedny z nich patří *Definice zatížení*. Konstruktér zde může nastavit různé zatížení pohonu, krouticí momenty a časově založené silové funkce. Dále je vylepšena funkce *Okno grafu*. Pomocí komplexních funkcí pro sestavování grafu lze rychle prozkoumat, jak se dynamické charakteristiky návrhu mění v průběhu provozního cyklu stroje.

Kompaktní jistič BD250N lze použít k mnoha účelům jištění. K těmto účelům slouží nadproudové spouště, tzv. „srdce jističů“. Nadproudové elektronická spoušť tvoří samostatný záměnný blok, kterým se doplňuje spínací blok BD250. Záměnou nadproudové spouště lze snadno měnit rozsah jmenovitého proudu jističe. Podle požadavků na přizpůsobení vypínací charakteristiky spouště jištěnému zařízení a variabilitě charakteristiky z pohledu selektivity jsou k dispozici spouště: *L001*, která se používá výhradně k jištění vedení s nízkými záběrovými proudy. Spoušť *DTV3* se používá především na jištění vedení a transformátorů. Spouště *MTV8* a *MTV9* se používají především pro přímé jištění motorů a generátorů s tím rozdílem, že na spoušti *MTV9* lze nastavit až čtyři různá zpoždění vypínání zkratových proudů. Nakonec spoušť *4D01* se používá výhradně na jištění transformátorů v sítích TN-C-S a TN-S.



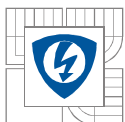
U spouští nezávisí jejich správná funkce na tvaru proudu v silovém obvodu. Činnost spouště zabezpečuje mikroprocesor, který zpracovává nevzorkovaný signál silového obvodu a přepočítává jej na efektivní hodnotu. Proto jsou spouště vhodné pro jištění obvodů, kde dochází ke zkreslení sinusového průběhu proudu vyššími harmonickými např. obvody s řízenými usměrňovači.

Všechny spouště jistí obvod proti zkratům a přetížení. Vypínací charakteristika spouští je nezávislá na okolní teplotě. Spoušť se do spínacího bloku upevňuje dvěma šrouby. Průhledný kryt regulačních prvků lze zaplombovat.



LITERATURA

- [1] Valný, M.: Autodesk Inventor efektivně, CCB, 2001 Brno
- [2] Havelka, O.: Elektrické přístroje I, VUT Brno, 1979 Gottwaldov
- [3] Katalog – Kompaktní jističe, OEZ, 2006 Letohrad
- [4] Příručka elektrikáře, OEZ, 2006 Letohrad
- [5] Vrána, V.: Obecná elektrotechnika, VŠB-TU Ostrava, 2000 Ostrava
- [6] Autodesk, Xanadu. *Autodesk Inventor* [online]. 2007 [cit. 2007-10-25]. Dostupný z WWW: <http://www.xanadu.cz/dl/InventorSuite_2008.pdf>
- [7] Abdobe InDesing CS2 (4.0.2). *Autodesk Inventor* [online]. 2008 [cit. 2008-02-10]. Dostupný z WWW: <http://images.autodesk.com/emea_apac_main/files/invpro09_br0a1emea-000000-mz0x_a4_r2.pdf>
- [8] BUREŠ, Milan, BOROVEC, Jaroslav. *Elektrika.cz* [online]. 2002 [cit. 2007-10-25]. Dostupný z WWW: <<http://elektrika.cz/data/clanky/jkajp021107/view>>
- [9] OEZ Letohrad. *OEZ* [online]. 2008 [cit. 2008-04-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.oez.cz/viewDocument.asp?document=26173>>
- [10] MINDL, Pavel. *Schrack.cz* [online]. 2006 [cit. 2008-04-08]. Dostupný z WWW: <<http://infodny.schrack.cz/data/modernielektronickejisticevrozvodechnn.pdf>>

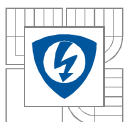


PŘÍLOHY

Příloha 1 – Hodnoty dovolených proudů v ampérech pro způsoby uložení. Vodiče izolované PVC. Tři zatížené vodiče Měď nebo Hliník. Teplota jádra 70°C / okolní teplota: 30 °C ve vzduchu, 20°C v zemi.

Zdroj: Tabulky s údaji do Elektroenergetiky, SPŠE Frenštát pod Radhoštěm

Jmenovité průřezy vodičů mm ²		Způsob uložení				
		A ve zdi	B v trubce	C na zdi	D v zemi	
					2,5 Km/W	0,7 Km/W
Měď	1	10,5	12	13,5	14,5	23
	1,5	13	15,5	17,5	18	28
	2,5	18	21	24	24	38
	4	24	28	32	31	48
	6	31	36	41	39	61
	10	42	50	57	52	81
	16	56	68	76	67	105
	25	73	89	96	86	134
	35	89	111	119	103	161
	50	108	134	144	122	191
	70	136	171	184	151	236
	95	164	207	223	179	280
	120	188	239	259	203	317
	150	216	-	294	230	359
	185	248	-	341	257	401
	240	286	-	403	297	464
	300	328	-	464	336	525
Hliník	1	8	9,5	10,5	11,5	18
	1,5	10	12	13,5	14	22
	2,5	14	16,5	19	19	30
	4	19	22	25	24	38
	6	24	28	32	30	47
	10	32	39	44	40	63
	16	43	53	59	52	81
	25	57	69	73	66	103
	35	70	86	91	80	125
	50	84	105	110	94	147
	70	107	133	140	117	183
	95	129	161	170	138	216
	120	149	186	197	157	245
	150	170	-	227	178	278
	185	194	-	259	200	313
	240	227	-	305	230	359
	300	261	-	351	260	406



Příloha 2 – Řada pojistek PN1gG

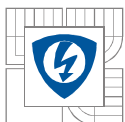
Zdroj: OEZ Letohrad



Projekt : Řada pojistek PN1qG

Vypínací charakteristiky a nastavení spouští

Zapojení	Přístroj		Poznámka
	PN1qG	$I_n = 6 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 10 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 16 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 20 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 25 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 32 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 35 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 40 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 50 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 63 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 80 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 100 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 125 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 160 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 200 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 224 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free
	PN1qG	$I_n = 250 \text{ A}$	$I_{con} = 120 \text{ kA}$ Připojeno pomocí FH1; Cd/Pb free



Příloha 3 – Přepočítací součinitele proudové zatížitelnosti pro okolní teploty vzduchu odlišné od 30°C.

Zdroj: Tabulky s údaji do Elektroenergetiky, SPŠE Frenštát pod Radhoštěm

nejvyšší dovolená provozní teplota jádra °C	Teplota prostředí °C									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
60	1,29	1,22	1,15	1,08	1	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
65	1,25	1,2	1,13	1,07	1	0,93	0,85	0,76	0,65	0,53
70	1,22	1,17	1,12	1,06	1	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
75	1,2	1,15	1,11	1,05	1	0,94	0,88	0,82	0,74	0,67
80	1,18	1,14	1,1	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71
85	1,17	1,13	1,09	1,04	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,74
90	1,15	1,12	1,08	1,04	1	0,96	0,91	0,87	0,82	0,76
120	1,11	1,08	1,06	1,03	1	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85